S.L. STRANEO y R. CONSORTI

El dibujo técnico mecánico



EL DIBUJO TECNICO MECANICO

EL DIBUJO TÉCNICO MECÁNICO

por

ING. S. L. STRANEO y PROF. R. CONSORTI



Traducción de

Fco. JAVIER VALLS VENTOSA

Ingeniero Industrial





MONTANER Y SIMON, S. A.

Barcelona

Esta obra es la traducción al español debidamente autorizada de la publicada originalmente en italiano por CASA EDITRICE GIUSEPPE PRINCIPATO, Milán, Italia, con el título

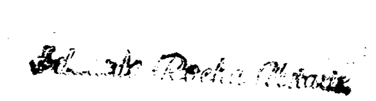
IL DISEGNO TECNICO MECCANICO

1.ª edición en español: 1965
Reimpresión «M. S.»: 1969

IMPRESO EN ESPAÑA
PRINTED IN SPAIN

Depósito legal B: 42.157-1969 N.° R.°: B. 186-65

Publicaciones Reunidas, S. A. Aragón, 390. Barcelona



PRÓLOGO

Hemos preparado esta obra con objeto de presentar un texto que reúna las siguientes condiciones:

a) *Que exponga en forma sucinta las primeras reglas del dibujo técnico-mecánico.*

b) *Que contenga todas las representaciones de órganos mecánicos indispensables para las normales necesidades del dibujante técnico-mecánico.*

c) *Que contenga datos unificados perfectamente puestos al día de las normas de unificación.*

d) *Que sea de fácil consulta y proporcione con gran evidencia los números de las tablas UNI correspondientes a los diversos asuntos.*

e) *Que facilite la búsqueda y la individualización de los materiales apropiados para la construcción de una pieza dada y de características determinadas.*

f) *Que contenga un repaso de los conceptos fundamentales de Mecánica y de Tecnología.*

Con sólo examinar el índice del texto se verá que hemos hecho todo lo posible para lograr los objetivos propuestos.

Se ha puesto especial cuidado en la uniformidad de los dibujos, todos los cuales se han hecho expresamente para esta obra.

La única excepción la constituyen algunas aplicaciones de los cojinetes de rodamiento, que se han obtenido de las publicaciones de las principales empresas constructoras de cojinetes que amablemente han autorizado la reproducción.

En cuanto a los materiales y al repaso de Mecánica, el ingeniero Straneo ha redactado dos extensos capítulos que comprenden, entre otros, extensas tablas de equivalencias entre materiales corrientes en el comercio y los materiales unificados y una nutrida colección de ejemplos de selección de materiales apropiados para la fabricación de diversas piezas mecánicas.

Las aplicaciones de los diversos materiales se han sacado de las tablas de unificación, de numerosas publicaciones técnicas y de centenares de dibujos técnicos cortésmente cedidos por empresas industriales.

Para facilitar la consulta de las tablas se han dispuesto los materiales por orden alfabético.

Tal vez se eche de menos un estudio pormenorizado de utillajes. Esta omisión es voluntaria, pues creemos realmente que un estudio de utillajes, para ser de utilidad, ha de ser muy extenso, no siendo completo. Preferimos, por tanto, remitir a los interesados a los libros especializados sobre la materia.

A pesar de nuestra atención y del cuidado del editor, es posible que este texto presente algunas lagunas y algunos errores tipográficos. Quedaremos muy agradecidos a todos aquellos que amablemente nos lo hagan observar, a fin de perfeccionar el libro, y hacer que satisfaga completamente las necesidades del dibujante técnico-mecánico.

Damos las más expresivas gracias a las firmas que tan amablemente nos han proporcionado publicaciones técnicas y dibujos; los nombres de estas firmas figuran en la bibliografía y en las leyendas de los dibujos reproducidos.

Quedamos especialmente agradecidos al Ing. Rosario Sofia, director de la Escuela para la Industria Mecánica del Instituto Profesional de Gallarate, por la activa y diligentísima revisión de bocetos y dibujos.

LOS AUTORES

PRÓLOGO DEL TRADUCTOR

Se ha procurado traducir este interesante y completísimo tratado de Dibujo Técnico Mecánico con la máxima fidelidad al texto original, en el que los mismos autores señalan la posibilidad de perfeccionar en futuras ediciones algunos aspectos del libro. He intentado lograr tal propósito en esta primera edición española, siempre dentro de los límites en que es prudente una afirmación de esta naturaleza.

Una observación de capital importancia sobre esta obra es que más parece destinada a ingenieros mecánicos que a delineantes proyectistas, por la importancia que se da a las normas italianas UNI y UNIM y la continua referencia a sus Tablas, especialmente al tratar de los materiales empleados en las piezas mecánicas.

Es posible que en Italia se exija a los dibujantes mecánicos un profundo conocimiento de las características tecnológicas, composición y aplicaciones de todos los materiales metálicos y especialmente de los hierros y aceros y sus aleaciones, lo que generalmente no ocurre con los delineantes españoles y de los países de habla hispana, a los que va destinada esta primera edición en castellano.

Sin embargo, se ha creído conveniente mantener la integridad del texto italiano, copiando incluso las Tablas 236 a 238 de la Parte tercera, relativas a los aceros italianos, aparentemente de poco interés para los dibujantes de habla castellana.

En las empresas metalúrgicas es el ingeniero mecánico y no el delineante proyectista quien determina los materiales que se emplearán en la construcción de los productos que fabrican, labor que se realiza teniendo en cuenta los catálogos y folletos editados por las casas suministradoras de metales y aleaciones en diversos estados de elaboración, de fabricación propia o de importación, y, en este último caso, proporcionarán las correspondientes Tablas de equivalencias entre los normales de los países exportadores. Ello no obsta para que el delineante tenga una idea clara y suficientemente extensa de las normas de unificación de uso corriente en su país.

El hecho de que esta obra se refiera preferentemente a las normas italianas UNI no disminuye en modo alguno su utilidad, puesto que los ingenieros mecánicos de las empresas españolas e hispanoamericanas prescindirán en la mayoría de los casos de las normas mencionadas y, según la costumbre establecida, relacionarán los materiales a emplear de acuerdo con los datos y aplicaciones que proporcionan gustosamente las casas proveedoras.

Por otro lado, una tabla de equivalencias de las normas italianas con las españolas y americanas no cabe dentro de los límites de esta traducción, especialmente si se considera que en España se emplean varias normas extranjeras, como las DIN, ASA, etc., y que solamente para la designación de aceros tipificados nacionales hay en España las normas I.H.A., U.N.E., I.N.T.A.; en los Estados Unidos existen las A.I.S.I., S.A.E. y A.M.S.; en Alemania las DIN y R.L.M.; en Francia las N.F. y en Inglaterra las B.S. y D.T.D.

En cuanto a las normas para la construcción de las diferentes piezas mecánicas, los extractos de las normas UNI, UNIM (italianas) e ISA (internacionales) que figuran en las Tablas del texto, serán suficientes en la casi totalidad de los casos que puedan presentarse al delineante proyectista. Si se desea una información más extensa con respecto a las normas UNI y UNIM, puede solicitarse directamente al ENTE NAZIONALE ITALIANO DI UNIFICAZIONE (Piazza A. Diaz, 2, Milán, Italia), o bien al INSTITUTO NACIONAL DE RACIONALIZACIÓN DEL TRABAJO (Serrano, 150, Madrid-6, España). Cualquiera de las dos entidades citadas puede proporcionar el catálogo de las normas UNI y UNIM, así como los detalles que se requieran sobre las convenciones aceptadas por los países adheridos a la ISO (ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN).

Agradeceremos al lector cualquier sugerencia que tienda a aumentar la utilidad de esta obra en futuras ediciones.

FCO. JAVIER VALLS VENTOSA
Ingeniero Industrial

BIBLIOGRAFÍA

TEXTOS

CAPELLE: *Théorie et calcul des Engrenages Hypoïdes*, Dunod.

CAZAND: *Le frottement et l'usure des Métaux-Les Anti-frictions*, Dunod.

COEN-ROCCA: *Macchine Termiche*, Signorelli.

COLOMBIER-HOCHMANN: *Aciers Inoxydables*, Dunod.

CONTI: *Cuscinetti di rotolamento*, Hoepli.

CHAUSSIN: *Manuel des traitements de l'Acier*, Dunod.

DE ANGELI: *Progetto e calcolo delle molle*, Hoepli.

DE SMET: *La pratique des Traitements thermiques des métaux industriels*, Dunod.

DOUMERY: *Mécanique appliquée*, Masson.

FANCHINI: *Ingranaggi e teoria delle dentature*.

GAZZANIGA: *Il libro delle filettature*, Hoepli.

— *Il libro degli ingranaggi*, Hoepli.

GIACOSA: *Motori Endotermici*, Hoepli.

GIUSTINA: *Cuscinetti a due corone a botte orientabili*, Hoepli.

GUZZONI: *Gli acciai comuni e speciali*, Hoepli.

KESSEN: *Les Ressorts au service de l'Industrie*, Dunod.

MAZZA: *Ruote dentate*, 2 vol., S.E.I.

METRAL: *La Machine Outil*, Dunod.

PALEOLOGO: *Tecnologia delle materie plastiche*, Ceschina.

PANTALEO: *Meccanica*, Marzocco.

PUNZI: *Corso di Meccanica*, ed. Punzi.

ROSSI: *Macchine utensili* Hoepli.

— *Attrezzature meccaniche*, Hoepli.

SEFERAIN: *Trattato delle saldature*, Hoepli.

SORIA: *Ingranaggi elicoidali*, Viglongo.

SPELUZZI-TESSAROTTO: *Disegno di Macchine*, Hoepli.

STRANEO: *Il sistema di tolleranze ISA*, Lattes.

STRANEO-CONSORTI: *Tecnologie meccanica*, Lattes

UNI: *Tabelle, relazioni, progetti.*

WERNITZ: *Le molle a tazza semplici e composte*, «Rivista di Meccanica».

ZOZZORA: *Engineering drawing*, Nueva York.

PUBLICACIONES Y CATÁLOGOS TÉCNICOS

ANGST-PFISTER: *Catalogo delle guarnizioni, tubi, anelli compensatori, ecc.*

BREDA: *Acciaci speciali.*

COGNE: *Acciai inossidabili, speciali, per molle.*

DALMINE: Publicaciones técnicas.

FALCKS Boletines.

FIAT: *Acciai inossidabili, da costruzioni*, y otras publicaciones técnicas.

ILVA: Publicaciones técnicas.

KUGELFISCHER, G. STRAFER y C. SCHWEINFURT: *I cuscinetti a rotolamento quale elemento di macchina*, C.I.E., Milán.

— *Les roulements dans la construction des machines outils*, C.I.E., Milán.

MARATHON: *Acciai indeformabili e per utensili.*

PHOENIX: *Acciai.*

PIRELLI: *Manuale tecnico per il calcolo e l'impiego delle cinghie trapezoidali.*

REGINA: *Catene calibrate*, Milán.

RENOLD: *Catene a rulli.*

RIV: *Collana tecnica; Manuale dei Cuscinetti.* Otras publicaciones técnicas.

SCHNORR: *Piccolo manuale per molle a tazza.*

SIAU: *Acciai speciali.*

SIMMONDS ITALIANA: *Costruzioni aeroaccessori.* Catálogos y tablas.

S K F: *Cuscinetti a sfere e a rulli*, y otras publicaciones técnicas.

Otros extractos de catálogos y listas que se citan figuran en el texto.

ÍNDICE

PARTE PRIMERA

GENERALIDADES

Parte segunda

DIBUJO TÉCNICO MECÁNICO

PARTE TERCERA

MATERIALES EMPLEADOS EN LAS CONSTRUCCIONES MECÁNICAS

Parte cuarta

REPASO DE MECÁNICA

Capítulo I. *Definiciones*

Capítulo II. *Repaso de algunas nociones fundamentales de Estática y Dinámica*

Capítulo III. *Nociones de mecánica aplicada. Resistencias pasivas*

Momentos de inercia

Capítulo IV. *Nociones de resistencia de materiales*

Capítulo V. *Mecanismos*

Parte quinta

TABLAS NUMÉRICAS Y DE MATERIALES

PRIMERA PARTE - GENERALIDADES

INTRODUCCIÓN

1. El dibujo mecánico

Todo órgano y pieza de máquina, tanto si se considera aislado como formando parte de un mecanismo, tiene una *forma* y unas *dimensiones bien definidas;* cada pieza, además, está construida con el *material* que el proyectista ha escogido, teniendo en cuenta sus cualidades tecnológicas y mecánicas; las *superficies externa e interna* de cada pieza tienen también el grado de acabado que exige la función que dichas superficies deben cumplir. Todos estos datos relativos a cada pieza deben ser comunicados por la *oficina técnica* (proyectista) a la oficina constructora o taller, y esto se realiza por medio de un *dibujo técnico* de dicha pieza. Por tanto, es evidente que *la fabricación de determinada pieza mecánica sólo se podrá realizar en la forma exacta ideada por el proyectista, si el dibujo de la oficina técnica es completo* (es decir, si contiene todos los elementos necesarios) y si dicho dibujo es examinado continuamente, durante el trabajo, por el obrero u obreros que intervienen en el mismo.

Es, pues, evidente que *el dibujo técnico de una pieza determinada ha de conseguir que todos los obreros que intervienen en su construcción. sirviéndose de dicho dibujo,* **aun en tiempos y localidades diferentes,** *produzcan piezas* **técnicamente iguales.**

2. Los dos problemas del dibujo técnico

Se presentan, por consiguiente, dos problemas esenciales:

a) **La ejecución de dibujos que, examinados por cualquier persona, se interpreten siempre del mismo modo.**

b) **La interpretación de los dibujos ya ejecutados debe adaptarse exclusivamente a la intención del proyectista.**

Esto, evidentemente, sólo es posible en el caso de que se hayan establecido, de manera fija e inmutable, *todas las reglas necesarias* para que el dibujo sea un auténtico y propio *lenguaje técnico* que pueda cumplir la función de transmitir al dibujante las órdenes, intenciones y deseos del proyectista. La primera obligación, pues, del dibujante y del técnico es **conocer con seguridad todas las normas del dibujo técnico.** Por esta razón, las expondremos en la presente obra gradualmente, de modo sucinto, pero preciso y completo.

Mediante la ejecución gradual de los dibujos técnicos, aplicando las diferentes reglas que se irán exponiendo, los aspirantes a delineantes alcanzarán la capacidad necesaria para ejecutar los más complicados dibujos técnicos; por el mismo sistema, los técnicos llegarán a tener la capacidad indispensable para interpretar los dibujos técnicos, interpretación que a veces es bastante difícil y exige, además de un intenso esfuerzo mental y el conocimiento de las reglas del dibujo, un profundo dominio de la tecnología, de todos los métodos de trabajo y, principalmente, una larga práctica y familiaridad con el dibujo técnico.

INSTRUMENTOS DE DIBUJO Y MODO DE USARLOS

3. Reglas y escuadras

Se verá más adelante que tal vez (II, n.° 9), para la ejecución rápida de uno o algunos ejemplares de una pieza mecánica (por ejemplo, para dibujar una pieza que haya de sustituir a otra semejante averiada en una máquina), puede ser suficiente un simple *croquis* de la pieza, croquis trazado a mano alzada *según las normas del dibujo técnico;* mas, por lo regular, *los dibujos técnicos deberán realizarse según reglas de arte,* empleando instrumentos apropiados que facilitan en gran manera la tarea del dibujante.

A continuación describiremos los principales instrumentos y útiles de dibujo.

Las líneas rectas se trazan mediante **reglas** (fig. I, 1); se construyen generalmente de madera y pueden ser *milimetradas* (fig. I, 2) o no; en el primer caso suelen tener la graduación grabada en la misma madera (reglas muy ordinarias) o bien sobre un *ribete sobrepuesto* de celuloide o de materia plástica blanca. Hay también reglas de madera con una *tira incrustada* de materia transparente (celuloide o plástico), con el fin de tenerla algo levantada sobre el papel de dibujo (fig. I, 3).

Para transportar más fácilmente dimensiones se puede hacer uso, además de la regla milimetrada, de un **doble decímetro** (fig. I, 4).

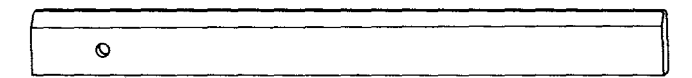


Fig. I, 1. *Regla sencilla.*

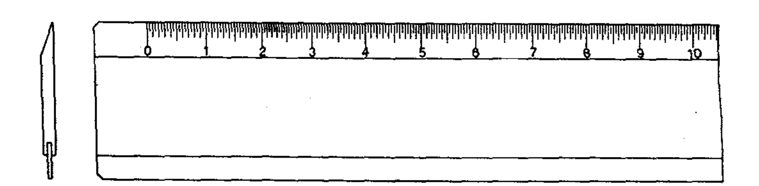


Fig. I, 2. *Regla milimetrada; la graduación está grabada sobre una tira de materia plástica blanca; a todo lo largo del otro lado lleva incrustada una tira de materia plástica transparente.*

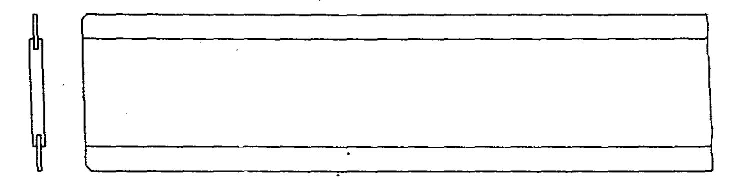


Fig. I, 3. *Regla sin milimetrar, con dos tiras de materia plástica transparente; está especialmente indicada para calcar y para dibujar con tinta.*

Las escuadras se emplean en general (v. n. 16) para trazar rápidamente, ya sea rectas paralelas entre sí, o bien formando con una recta dada un ángulo de uso corriente (30°, 45°, 60°, 90°).

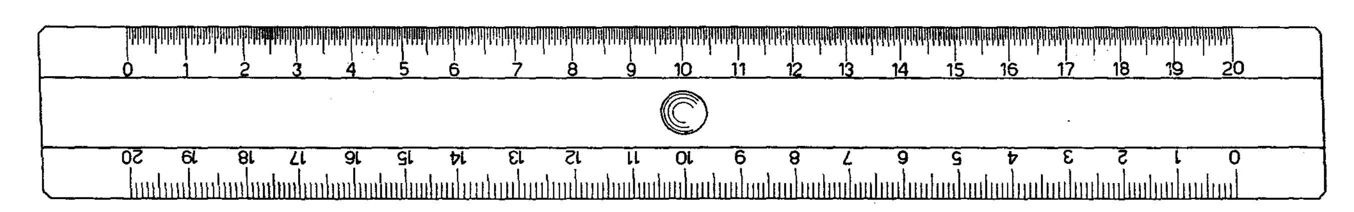


Fig. I, 4. *Doble decímetro.*

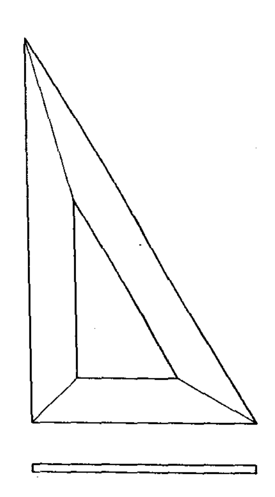


Fig. I, 5

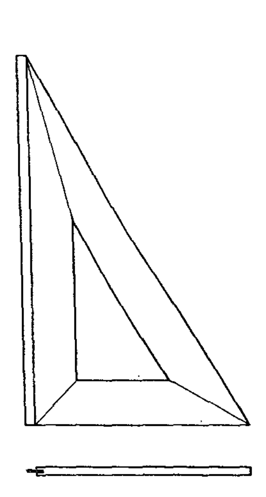


Fig. I, 6

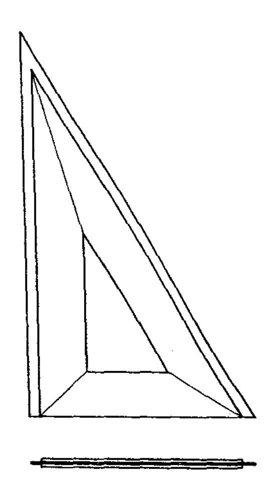


Fig. I, 7

Figs. I, 5-10. *Diferentes modelos de escuadras. 5. Cartabón de madera, sencillo. 6. Igual al anterior, pero con una tira incrustada. 7. Ídem, con dos tiras incrustadas. 8. Escuadra de madera, sencilla. 9. Ídem, con una tira incrustada. 10. Ídem, con dos tiras incrustadas.*

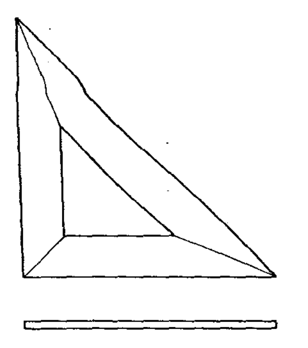


Fig. I, 8

Fig. I, 9

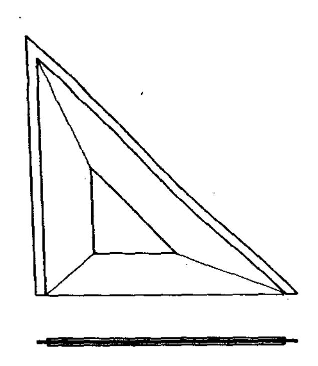


Fig. I, 10

Las escuadras tienen forma de triángulo rectángulo; y son:

a) **Escuadras escaleras o cartabones** (figs. I, 5-7), con la hipotenusa igual al doble del cateto menor. Los ángulos agudos de estas escuadras son por lo tanto de 30° y 60°.

b) **Escuadras isósceles** (figs. I, 8-10), que tienen por lo mismo dos ángulos iguales a 45°.

Las escuadras pueden ser de madera (generalmente de *peral*) muy seca (figs. I, 5, 8), para evitar deformaciones; o de celuloide o de adecuada materia plástica; o bien de madera con los *bordes* de madera más dura o también con uno de los lados biselado y ribeteado con una materia plástica blanca, en la que está grabada una escala milimetrada. Las hay también que tienen incrustada una tira de materia transparente (figs. I, 6, 7, 9, 10), como ya se ha dicho al tratar de las reglas.

4. Comprobación de las reglas y de las escuadras

Para hacer bien un dibujo son elementos indispensables buenas reglas y escuadras. Es, pues, necesario saber cómo se efectúa una rápida comprobación de las mismas. *El defecto más corriente de una regla es que su borde no sea recto,* es decir, que sea algo cóncavo o convexo. La comprobación, que se deberá hacer siempre en el momento de la compra de cualquier regla, es bastante sencilla (figs. I, 11-13): se coloca la regla en una posición cualquiera (*1*) y se traza una línea valiéndose de la misma. Luego se coloca la regla (*2*) de manera que su borde coincida con la línea trazada anteriormente, y se traza una nueva línea. *Si la regla es perfecta, la segunda línea será paralela y superpuesta a la primera* (fig. I, 11); *si el borde de la regla es convexo, las dos líneas trazadas*

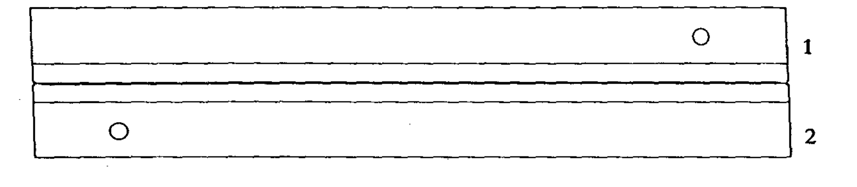


Fig. I, 11. **Comprobación de una regla.** *Se coloca la regla en la posición 1 y se traza una recta. Se coloca luego la regla en la posición 2 y se traza una nueva recta procurando que coincida con la anteriormente trazada. Si coinciden, la regla es perfecta.*

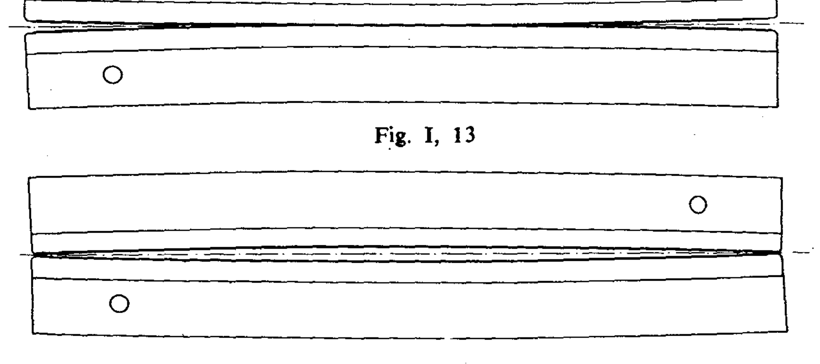


Fig. I, 13

Fig. I, 12

Figs. I, 12-13. **Comprobación de una regla.** 12. *Si al efectuar la operación indicada en la* figura I, 11, *resulta que las dos rectas trazadas se tocan solamente en los extremos, el borde de la regla es cóncavo.* 13. *Si, por el contrario, las dos rectas son tangentes en el medio, el borde de la regla es convexo.*

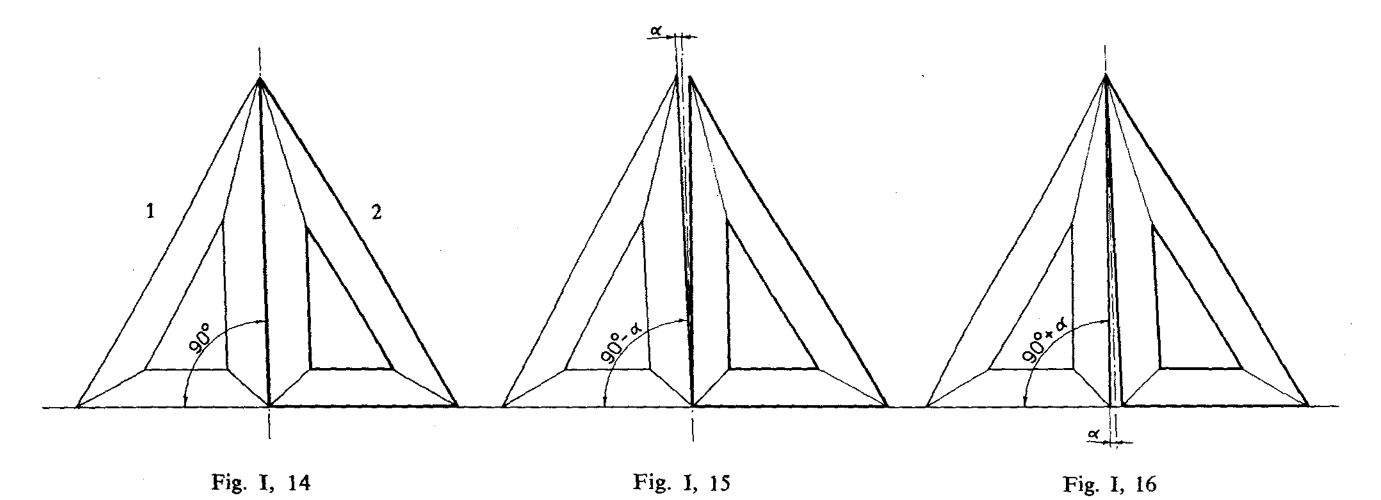


Fig. I, 14 Fig. I, 15 Fig. I, 16

Figs. I, 14-16. **Comprobación de un cartabón.** 14. *Se coloca el cartabón en la posición 1, apoyándolo en una regla, y se traza una recta; se vuelve el cartabón, llevándolo a la posición 2, y, apoyándolo igualmente en la regla, se traza una recta que coincida con la primera. Si el cartabón está bien construido, es decir, si su ángulo es efectivamente de 90°, las dos rectas coincidirán o, en todo caso, serán paralelas.* 15. *Si en cambio las rectas se separan en el extremo superior, el ángulo es inferior a 90° en un ángulo que es la mitad del formado por las dos rectas.* 16. *En el caso contrario, o sea que las rectas se separen en el extremo inferior, el ángulo es mayor de 90° exactamente en un ángulo mitad del formado por las dos rectas.*

serán **tangentes en el centro** y divergentes en los extremos (fig. I, 12); *y si la regla tiene el borde cóncavo, las dos líneas se tocarán en los* **extremos** y se separarán en el medio, como se ve en la fig. 1, 13, en la que (como en la fig. I, 12), para mayor comprensión, la concavidad y la convexidad se han exagerado.

De un modo análogo *se comprueba el ángulo recto de una escuadra* (figs. I, 14-16) apoyando ésta en una regla perfecta y trazando dos rectas, la primera vez en la posición (*1*) y la segunda en la posición (*2*). *Si las rectas trazadas coinciden* (o son paralelas), *la escuadra es perfecta* (fig. I, 14); *si se separan en la parte superior* (fig. I, 15), *el ángulo es menor de 90° en una cantidad igual a la* **mitad** *del ángulo formado por las dos rectas; en cambio, si son divergentes en la parte inferior* (fig. I, 16), *el error de la escuadra es por exceso y equivale a la* **mitad** *del ángulo formado por las dos rectas.*

5. Plantillas para curvas y especiales

Las plantillas para curvas son de madera o de plástico (figs. I, 17-20), y se usan para trazar con facilidad curvas diversas. Las hay de diferentes modelos, y su empleo se explica en el n.° 16.

Cuando se han de trazar líneas de poca curvatura, pueden emplearse con mayor comodidad las llamadas cintas para curvas o plantillas deformables, constituidas por una funda de materia plástica en cuyo interior se aloja una cinta metálica flexible, a la que se va dando la curvatura necesaria (fig. I, 21). El principal inconveniente de estas plantillas deformables es que, después de haberse usado muchas veces, la cinta metálica queda más o menos ondulada.

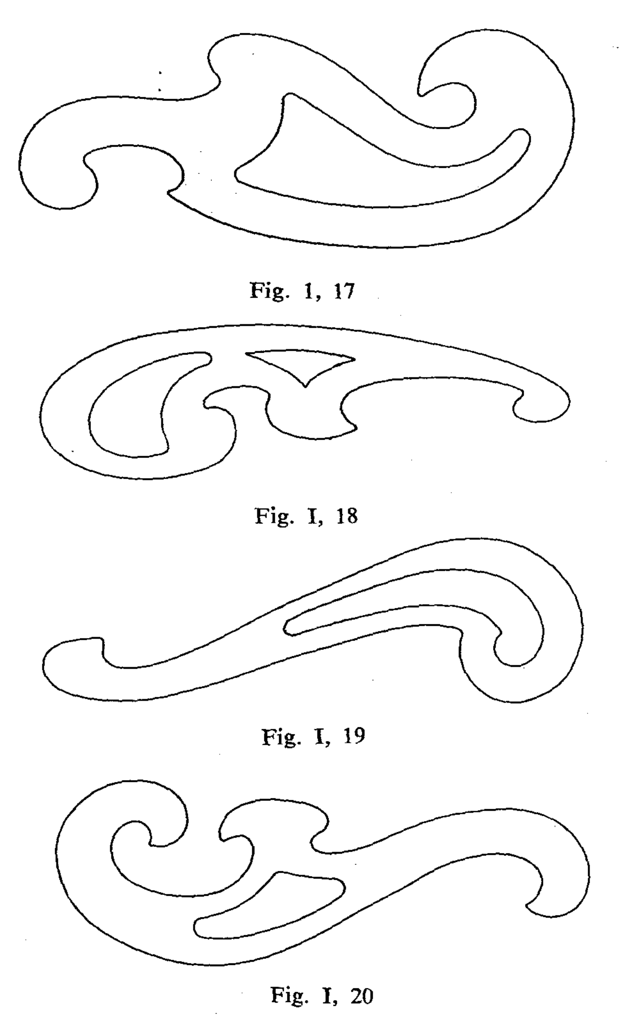


Fig. 1, 17

Fig. I, 18

Fig. I, 19

Fig. I, 20

Figs. I, 17-20. *Algunos modelos de plantillas de curvas.*

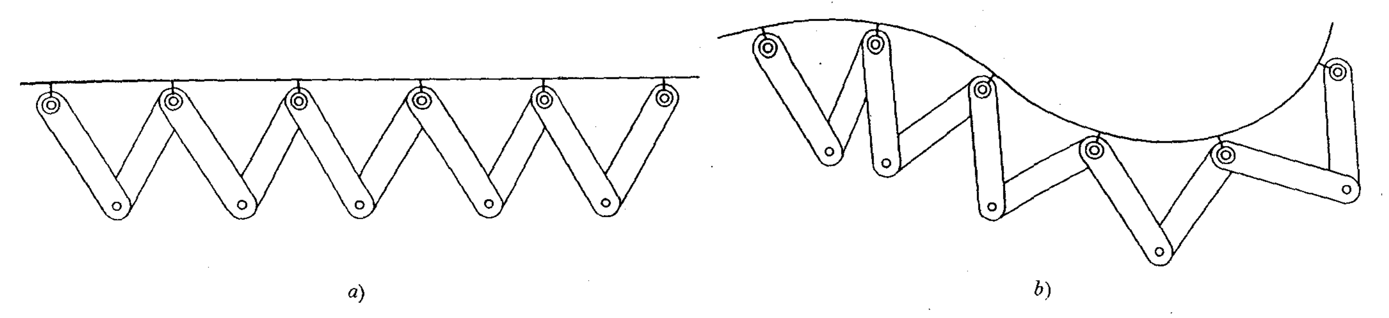
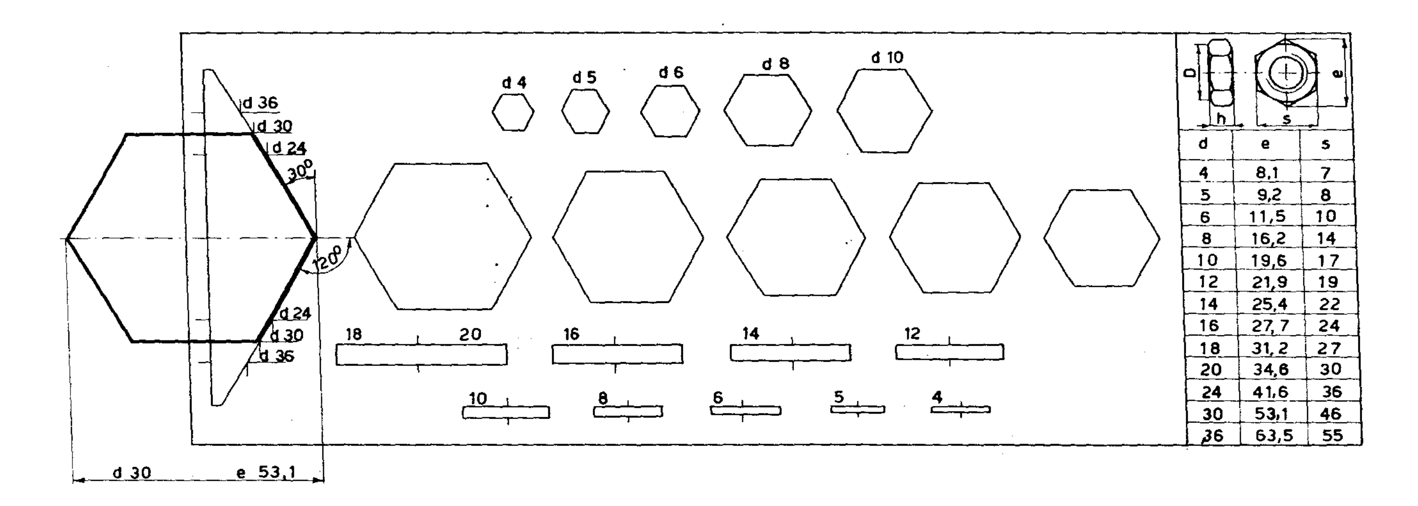


Fig. I, 21. *Esquemas de plantillas de curvas variables. En lugar de emplear las plantillas de curvatura fija, en ocasiones puede ser más práctico servirse de plantillas de curvatura variable, constituidas por un fleje de acero (a) fijado a unas pletinas articuladas, al que el dibujante va dando la curvatura (b) que necesita. Su uso se aconseja especialmente para trazar curvas simétricas, para levantamiento de perfiles, etc.*



d	e	s
4	8,1	7
5	9,2	8
6	11,5	10
8	16,2	14
10	19,6	17
12	21,9	19
14	25,4	22
16	27,7	24
18	31,2	27
20	34,6	30
24	41,6	36
30	53,1	46
36	63,5	55

Fig. I, 22. *Plantilla para el dibujo de pernos* (Tecnostyl). *El uso de plantillas de este tipo resulta muy cómodo cuando, en un dibujo técnico, se han de representar muchos pernos. La plantilla permite el trazado directo de pernos y arandelas hasta 20 milímetros; y facilita el trazado de pernos hasta 36 mm utilizando la plantilla de la izquierda de la figura.*

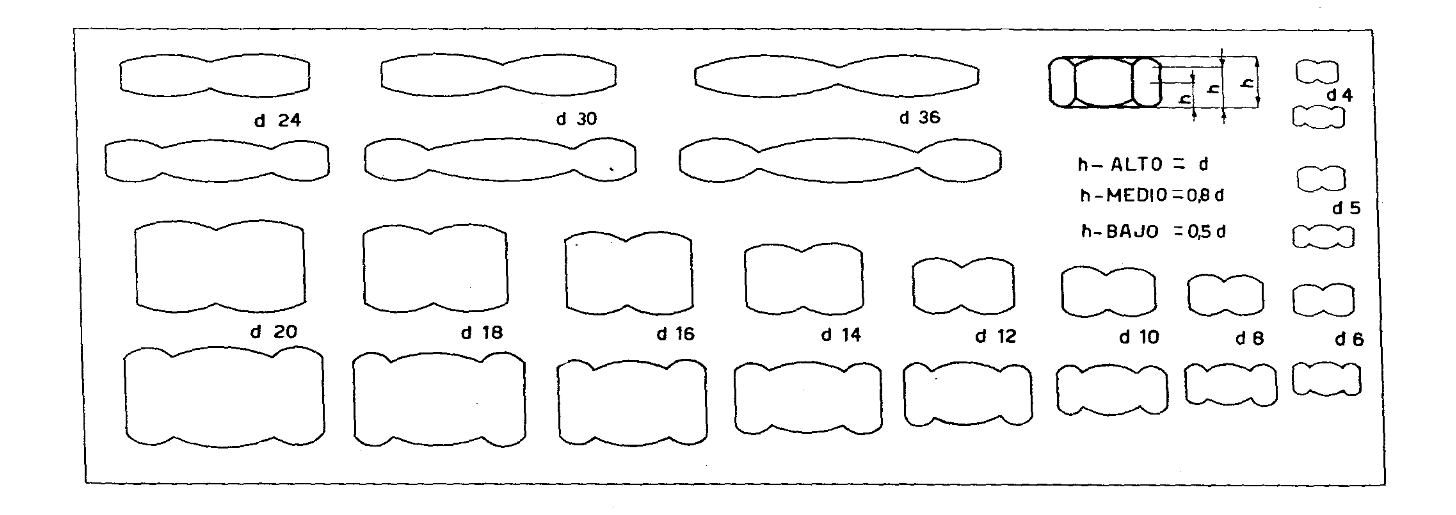


Fig. I, 23. *Plantilla para pernos* (Tecnostyl). *Se corresponde con la anterior y sirve para el trazado de las caras laterales de las cabezas de los pernos.*

En muchos casos son más prácticas otras cintas para curvas, cuyo borde está constituido por un fleje de acero que puede tomar diferentes formas mediante unos tornillos que lleva aplicados. Aún hay otros tipos formados por un muelle de acero, empleados ventajosamente cuando conviene trazar una curva que pase por puntos determinados (por ejemplo, un diagrama); en este caso se puede dar al muelle la forma deseada, fijándolo en los puntos señalados mediante piezas que llevan un diente apropiado.

Cuando se deban dibujar con frecuencia piezas mecánicas de uso muy corriente (tuercas, pernos, etc.), se pueden emplear plantillas especiales, como las dos representadas en las figs. I, 22-23.

6. Las mesas de dibujo

Las antiguas mesas de dibujo, de inclinación que puede variarse a voluntad maniobrando unas guías correderas, fijadas en la posición deseada con numerosos tornillos de presión, de mariposa, ya no se usan actualmente. Las mesas de dibujo más modernas tienen un pedal, que al maniobrarlo permite regular, con muchísima rapidez y seguridad, la altura y la inclinación del tablero al que se fija la hoja del dibujo; son muy prácticas, ocupan poco espacio y su empleo facilita considerablemente la tarea del dibujante. Las figuras I, 24, 25 representan dos tipos de dichas mesas.

El tablero sobre el que se fija la hoja del dibujo

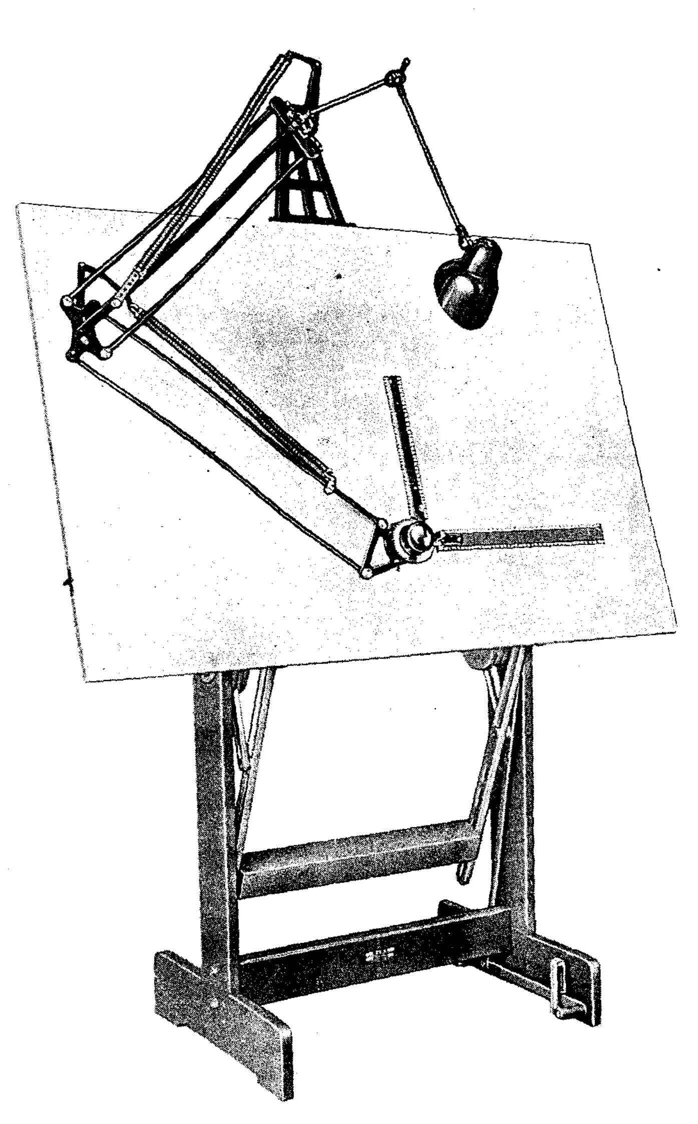


Fig. I, 24

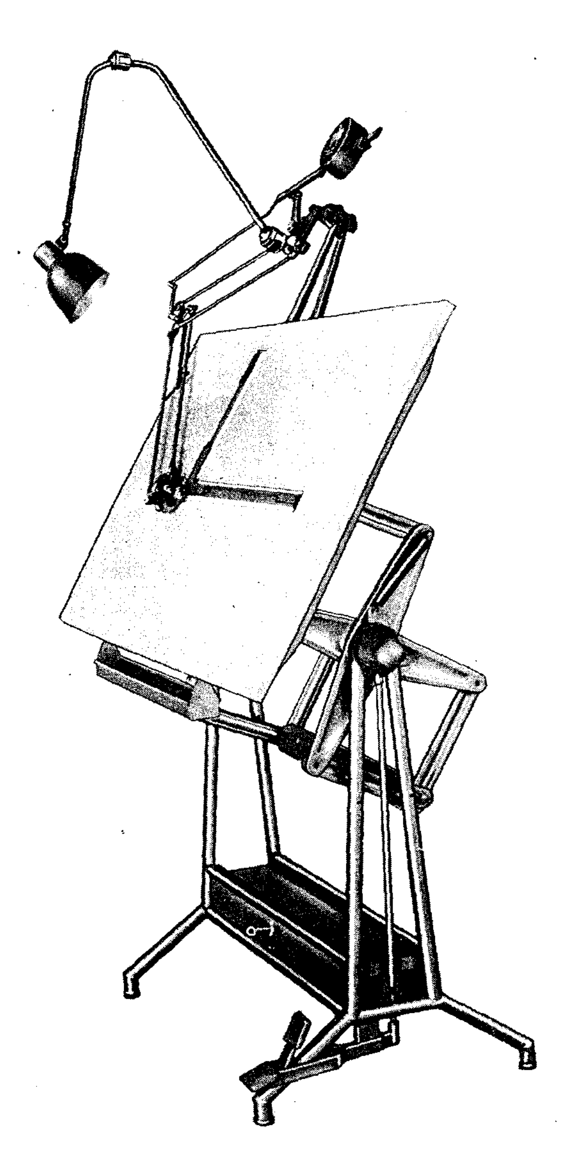


Fig. I, 25

Figs. I, 24-25. *Mesas de dibujo.*

ha de ser perfectamente plano, robusto, indeformable y de madera muy seca. Antiguamente se construían de madera blanda, con cabeceros de madera dura; hoy día se prefiere hacerlos enteramente de madera blanda, reforzados en el plano inferior con dos fuertes travesaños de madera dura o de metal, fijados al tablero por ensambladura o con tornillos apropiados.

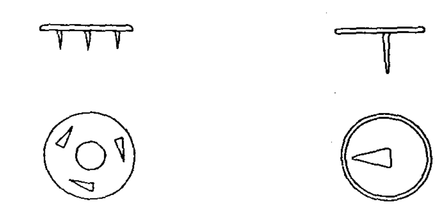


Fig. I, 26 Fig. I, 27

Figs. 26-27. *Chinchetas para dibujo, de tipo moderno y antiguo.*

Se emplea para el tablero madera blanda a fin de poder fijar fácilmente la hoja mediante chinchetas modernas de acero, de puntas pequeñas (fig. I, 26), que no deterioran el plano del tablero; las chinchetas antiguas (fig. I, 27), que producían grandes agujeros, tanto en el tablero como en la hoja del dibujo, han caído en desuso. Para fijar las hojas sobre el tablero también se usan con frecuencia tiritas de plástico adhesivo.

Los lados del tablero deben estar perfectamente escuadrados entre sí, muy lisos y con los cantos exactamente rectilíneos. Esto es indispensable para poder emplear la regla T (figs. 28-30).

7. La regla T

Éste es otro instrumento del dibujante, de uso muy extendido antiguamente — hoy es sustituido con frecuencia por el tecnígrafo —, aunque todavía es empleado por los dibujantes que no pueden adquirir el tecnígrafo por su precio. La regla T se usa apoyando su cabeza contra un borde de la mesa, generalmente el izquierdo; siendo éste plano, se hace posible el trazado de una serie de rectas paralelas entre sí, con gran rapidez y precisión suficiente.

Hay escuadras T *sencillas* (fig. I, 28), o con la *cabeza articulada* (fig. 29), provista frecuentemente de un arco graduado (fig. I, 31); esto hace posible el trazado, en caso necesario, de una serie de rectas paralelas entre sí, inclinadas sobre la horizontal con un án-

Fig. I, 28

Fig. I, 29

Fig. I, 30

Figs. I, 28-30. *Modelos de reglas o escuadras T. 28. Tipo sencillo. 29. Tipo con cabeza giratoria o de muletilla. 30. Tipo con doble cabeza, una fija y otra giratoria.*

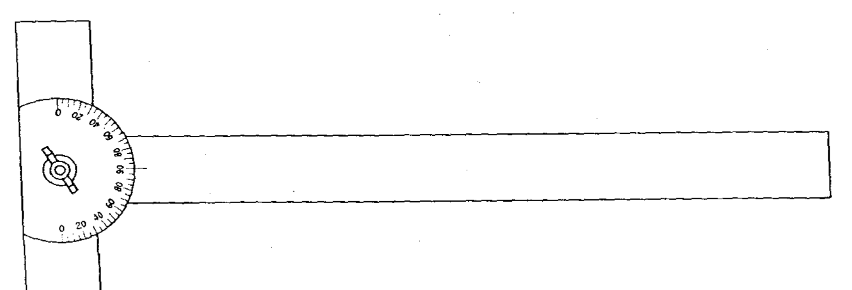


Fig. I, 31. *Regla T con cabeza giratoria y semicírculo graduado para trazar rectas con una inclinación dada.*

gulo dado. También las hay con doble cabeza, una fija y otra giratoria (fig. I, 30), de modo que, dando vuelta a la regla, se puede alternar el trazado de rectas horizontales y de rectas inclinadas.

8. Papeles y telas para el dibujo

Para obtener buenos dibujos es necesario emplear papeles (o telas) especiales. El procedimiento seguido corrientemente para la preparación de un dibujo de taller es el siguiente:

a) se traza un croquis sobre papel milimetrado corriente;

b) se ejecuta, basándose en el croquis, el dibujo completo y definitivo sobre papel de dibujo opaco;

c) se efectúa el *calco* del dibujo *b*, es decir, se resigue el mismo dibujo sobre papel vegetal transparente o translúcido, colocado sobre el dibujo *b*). A veces (aunque raramente) este calco se realiza sobre *tela* satinada transparente preparada especialmente; la tela se usa poco, dado su elevado precio, siendo sólo aconsejable su empleo cuando el calco se haya de plegar y desplegar con mucha frecuencia. En algunos casos raros, se puede emplear, desde hace algún tiempo, para el calco, una *película* transparente, que posee características especiales de resistencia y rigidez;

d) mediante el calco *c*) se reproduce el dibujo sobre papel por el procedimiento cianográfico o heliográfico, cuya técnica (química) y aparatos no interesan al dibujante. Se obtiene con estos procedimientos un número indefinido de copias, sea con dibujo blanco sobre fondo azul *(cianografía)*, o con dibujo en negro o sepia sobre fondo blanco *(heliografía)*. Las cianografías se usan con preferencia en los talleres porque, teniendo el fondo oscuro, los dibujos tienen mayor duración y están menos expuestos a ensuciarse; además el dibujo resalta más y cansa menos la vista. Con el mismo calco se pueden obtener a voluntad reproducciones cianográficas o heliográficas.

Los papeles para el trazado del dibujo *b)* deben ser de la mejor calidad, muy compactos y bien encolados; y poder soportar, además, repetidos borrados con goma de lápiz; si los dibujos han de ser pasados con tinta, es necesario que la calidad del papel impida que la tinta se corra lo más mínimo después de usar la goma de tinta o el raspador u hoja de afeitar.

Los papeles de dibujo se encuentran en el comercio generalmente en rollos, que son más baratos y prácticos que las hojas (de las que hay en venta pocas calidades); otra de las ventajas de los rollos es que se pueden cortar de los mismos hojas de los diversos tamaños que se necesiten (parte II, n.° 11). El papel en rollos tiene el inconveniente de que tiende siempre a arrollarse; pero, con un poco de práctica, es fácil eliminar esta tendencia haciendo deslizar la hoja (*con el cuidado debido para no deteriorarla*) contra el canto vivo de una regla, de un cristal pulido, de un cajoncito, etcétera.

Según el empleo que haya de hacerse del dibujo, especialmente con relación a la duración y resistencia al uso que deba tener, se debe escoger previamente la calidad del papel. Cuando se hayan de trazar diagramas, o en otros casos fácilmente imaginables, se pueden usar los conocidos papeles milimetrados o bimilimetrados, opacos o transparentes, con la cuadrícula impresa en diversos colores.

Las calidades de papeles transparentes, opacos o milimetrados que se encuentran en el comercio son bastante numerosas. (Anotamos, como ejemplo, que en el muestrario de la Soc. SIPI, de Milán, figuran:

28 tipos de papeles transparentes, de distinto peso y diferente grado de transparencia, en rollos de ancho variable entre 1 metro y 1,57 metros y cuya longitud varía de 20 a 50 metros;

15 tipos de papeles de dibujo o de croquis, en color blanco o paja, de peso variable, con superficie más o menos lisa o rugosa, en rollos de ancho entre 1,50 y 1,85 metros, y longitud de hasta 50 metros;

9 tipos de papeles milimetrados, opacos o transparentes.)

9. Lápices y gomas para dibujo

Generalmente los dibujos se hacen con lápiz.

Los lápices pueden ser de sección redonda o hexagonal; para el dibujo se prefieren sin duda alguna los de sección hexagonal, porque no tienen tendencia a rodar cuando se dejan sobre el tablero de dibujo, por poca inclinación que tenga.

La madera de los lápices ha de ser blanda y homogénea, es decir, sin nudos ni fibras duras, para que sea fácil sacarles punta.

También se emplean portaminas, en los que la mina se sujeta por pinzas de presión o por tornillo; la punta puede, por tanto, tener la longitud que se desee.

Las minas, formadas por una pasta de grafito y caolín, que se pasa por unas hileras y se somete luego a tratamientos especiales, pueden tener diferentes durezas, de las que depende, a igualdad de presión, la intensidad del trazo que dejan sobre el papel. Por tanto, *el dibujante ha de escoger cuidadosamente la mina adecuada a la clase de dibujo que haya de realizar.*

La dureza de las minas se indica por **números** *o por* **siglas** *formadas por letras y números.*

La dureza mínima se expresa en números por el 00; y a las durezas ligeramente crecientes corresponden los números 0; 1; 1 1/2; 2; 2 1/4; 2 1/2; 3 1/2; 4; 4 1/2; 5 1/2; 6; 7; 8; 9. Los lápices con minas superiores al n.° 5 son de tal dureza que no se suelen emplear por los dibujantes, sino solamente para trabajos especiales.

La correspondencia de dureza entre las siglas y los números es la siguiente, según indicación de la fábrica de lápices Koh-I-Noor:

Graduación blanda	Graduación media	Graduación dura	Graduación extra-dura
6 B = 00	2 B = 2	H = 3½	6 H = 6
5 B = 0	B = 2¼	2 H = 4	7 H = 7
4 B = 1	H B = 2½	3 H = 4½	8 H = 8
3 B = 1½	F = 3	4 H = 5	9 H = 9
		5 H = 5½	

Cualquiera que sea la dureza de la mina empleada, la punta del lápiz ha de tener la forma necesaria para permitir un trazado fino y limpio de las líneas; ha de afilarse con bastante frecuencia, frotándola sobre papel de lija adecuado (n.° 0 ó 00). El dibujante debe quitar constantemente el polvo que la mina deposita sobre el papel de lija, o de lo contrario es fácil que dicho polvo ensucie notablemente los dibujos. Las figs. I, 32 y 33 representan dos puntas de lápiz mal hechas; la primera es demasiado corta y no permite afilar la mina; la segunda no tiene la mina bastante aguda, por lo que no puede dejar un trazo limpio y fino. Las figs. 34 y 35 muestran, en cambio, dos puntas bien hechas.

Debido a que la punta de la mina, especialmente si es de dureza mínima o media, se gasta con bastante rapidez, puede ser conveniente, cuando se hayan de trazar muchas rectas de gran longitud, hacer la punta *en bisel* (fig. I, 36), que traza líneas muy finas y se gasta más lentamente.

Finalmente se ha de tener presente que, en general, se debe coger el lápiz algo inclinado en la dirección de la línea que se ha de trazar, como se indica en la fig. I, 37.

Para hacer desaparecer las señales dejadas por el lápiz se emplean las *gomas de lápiz*, constituidas por pequeñas piezas, generalmente rectangulares, de goma blanda.

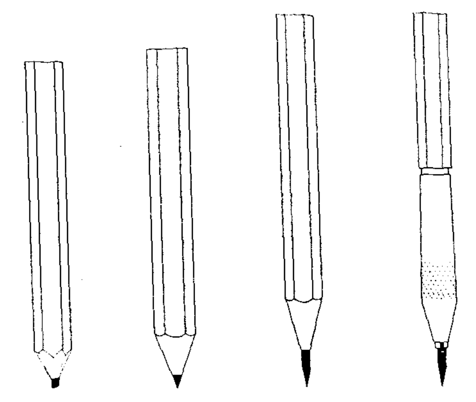


Fig. I, 32 Fig. I, 33 Fig. I, 34 Fig. I, 35

Figs. I, 32 y 33. *Dos ejemplos de puntas de lápiz mal hechas. 32. Corta y sin afilar. 33. Demasiado corta.* Figs. I, 34 y 35. *Dos puntas de lápiz perfectas para dibujo. 34. Lápiz corriente. 35. Lapicero portaminas.*

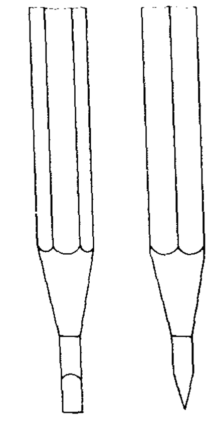


Fig. I, 36

Fig. I, 36. *Punta en bisel, aconsejada para trazar líneas muy largas y para el compás.*

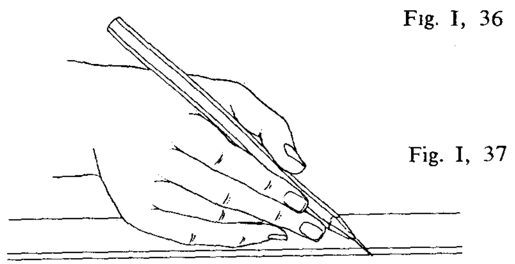


Fig. I, 37

Fig. I, 37. *Durante el trazado de líneas largas se ha de sostener el lápiz ligeramente inclinado hacia adelante, en el sentido del movimiento de la mano.*

Para devolver a las hojas la nitidez perdida a causa del roce de los instrumentos y las manos del dibujante, se puede emplear una goma aún más blanda, llamada *gomapán* o de migajón. Con el mismo resultado se puede usar, a falta de la goma adecuada, la miga de pan. Aquí es oportuno recomendar que tanto *las reglas como las escuadras se conserven perfectamente limpias;* y que se cubra siempre con una hoja de papel la parte del dibujo o de la hoja donde no se haya de dibujar, para poder apoyar sobre la misma la

mano del dibujante, sin peligro de manchar el dibujo.

Cuando se hayan de pasar nuevamente con tinta líneas que se han tenido que borrar, se borrarán empleando una goma adecuada, llamada *goma de tinta*, constituida generalmente por una goma más dura a la que se ha incorporado un abrasivo (tipo arenilla, reducida a granos finísimos de cantos cortantes) que quita una capa muy superficial del papel y con ella la tinta adherida. A pesar de ello, no siempre queda en buenas condiciones para dibujar el papel sobre el que se ha usado la goma de tinta (véase n.° 8).

Además de la goma de tinta, se pueden usar, manejándolos con gran pericia, *raspadores afiladísimos;* o bien hojas de afeitar.

10. Tintas para dibujar

Actualmente, *los dibujos se acaban a lápiz.* Anteriormente todos los dibujos se pasaban en tinta, ya fuese sobre papeles opacos o transparentes; en los primeros, por su mejor presentación, y en los segundos, para que las copias (heliográficas o cianográficas) resultasen más nítidas. Con la técnica actual de reproducción de dibujos y el empleo de papeles sensibles apropiados, se pueden obtener copias muy satisfactorias, con dibujos bien acabados con lápiz, sobre papel transparente. Con tal objeto pueden emplearse, para el acabado final de los dibujos sobre papel transparente para reproducciones, *lápices especiales,* que dejan un trazo limpio y muy opaco, que permite obtener reproducciones casi iguales a las obtenidas sobre papeles transparentes calcados con tinta china (*negra*).

De todos modos, los dibujos normales sobre papel opaco casi nunca se repasan con tinta. Pero a veces se requiere que los calcos para reproducciones se hagan con *tinta china.* Esta tinta está constituida por una suspensión coloidal de polvo impalpable de negro de humo, convenientemente preparado y purificado, en un líquido especial, generalmente una solución de goma o una materia gelatinosa. Para la buena conservación de la tinta china es necesario *evitar su largo contacto con el aire* o con sustancias extrañas. Hace algunos años que se han puesto a la venta los llamados cargadores (fig. I, 38), de los que se puede sacar la tinta gota a gota, quitando el tapón de alfiler. Pero hoy día han perdido bastante la predilección de los dibujantes, que prefieren la presentación normal en frasquitos de vidrio, con tapón de goma, provisto de cuentagotas (fig. I, 39), porque conservan la tinta en mejores condiciones. *Los frasquitos se han de tener siempre cerrados, abriéndolos solamente en el momento de usarlos y por el tiempo estrictamente necesario.*

Cuando se desee que las reproducciones en heliografía o cianografía sean de una nitidez absoluta en todos sus detalles, se recurre al artificio de repasar con tinta china los elementos del dibujo cuya reproducción requiera especial exactitud, tales como ejes, empalmes, círculos, cotas, indicaciones escritas, etc. En tal caso los calcos se presentan con partes repasadas con tinta china y el resto acabado con los lápices especiales de que se ha hablado.

Hay también tintas para dibujo en diferentes colores, empleadas para varios usos (diagramas, puntos de referencia, etcétera).



Fig. I, 38. *Cargador para tinta china.*



Fig. I, 39. *Frasquito de tinta china.*

11. Compases

Los compases sirven para trazar arcos de circunferencia y para transportar medidas. Se presentan generalmente en estuches que contienen un surtido de los tipos más corrientes (fig. I, 40).

El compás corriente se usa en la forma que indica la fig. I, 41; *cuando el diámetro de la circunferencia que se quiere trazar es de pocos centímetros, no es necesario hacer girar el portapuntas y el portaminas alrededor de su respectiva articulación; pero, en cambio, dicha rotación será necesaria para grandes aberturas del compás,* para evitar tanto que la punta de acero se clave oblicuamente sobre el papel, estropeándolo, como que la mina trabaje de lado, ya que en tal caso la línea trazada perdería toda precisión y nitidez.

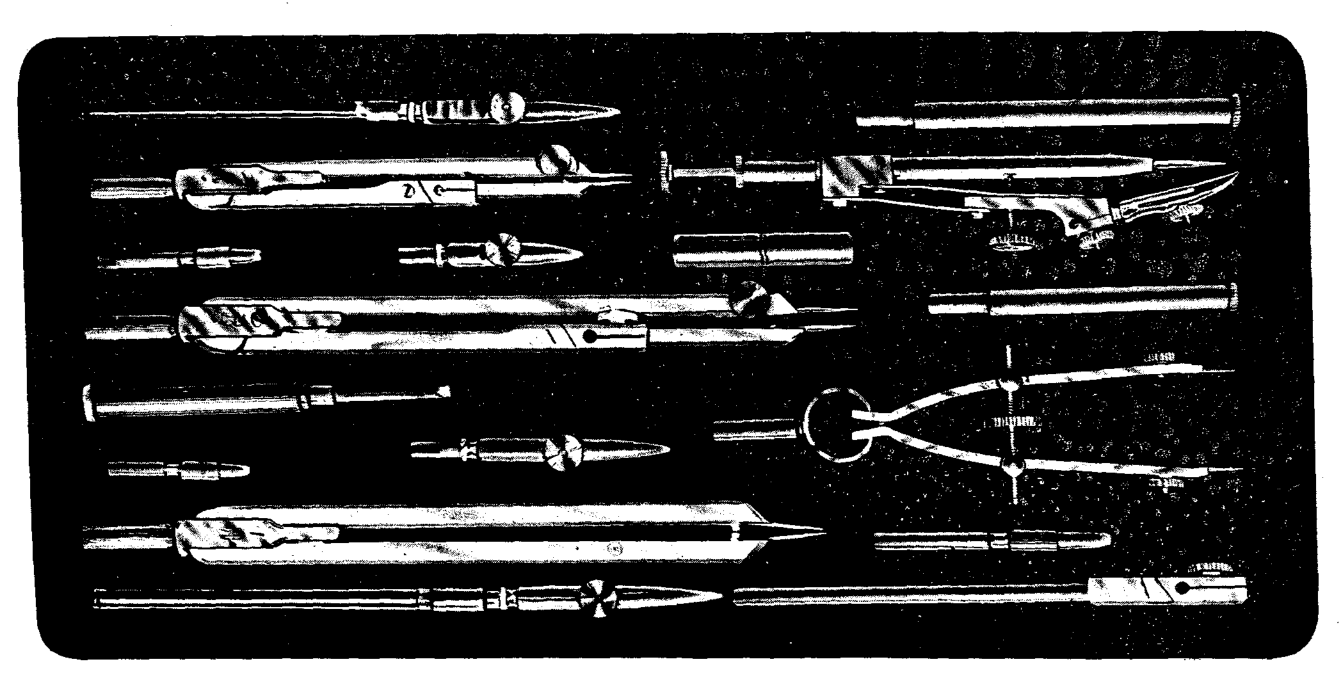


Fig. I, 40. *Estuche de compases .bien surtido.*

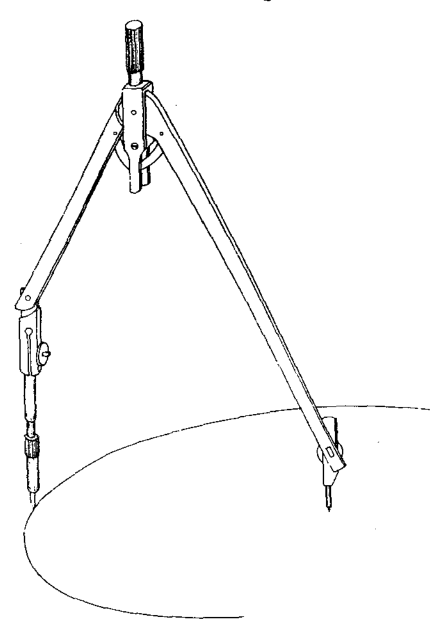


Fig. I, 41. *Modo de usar el compás para trazar circunferencias de gran radio. Para circunferencias de radio menor no es necesario el giro de la punta y del portaminas.*

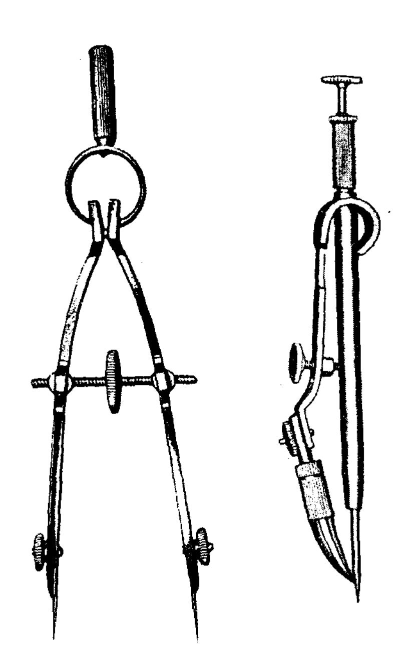
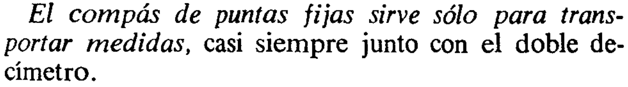


Fig. I, 42. *Bigotera:* a) *de puntas fijas;* b) *para tinta.*



El compás de puntas fijas sirve sólo para transportar medidas, casi siempre junto con el doble decímetro.

Las *bigoteras* o *balustrines* son compases especiales para circunferencias y arcos de pequeño radio, hasta de menos de un milímetro; su abertura se regula mediante un tornillo (fig. I, 42).

Los compases, y más aún las bigoteras, han de ser de la *mejor calidad;* sin buenos compases es imposible, aun para un dibujante hábil, obtener dibujos perfectos.

Las bigoteras de mala calidad producen fácilmente circulitos de forma más o menos ovalada o irregular; los compases malos, al trazar una circunferencia, especialmente si es de radio bastante grande, varían con frecuencia de abertura. Por esto *las articulaciones de los compases de calidad son objeto de ajuste muy cuidadoso* (fig. I, 43).

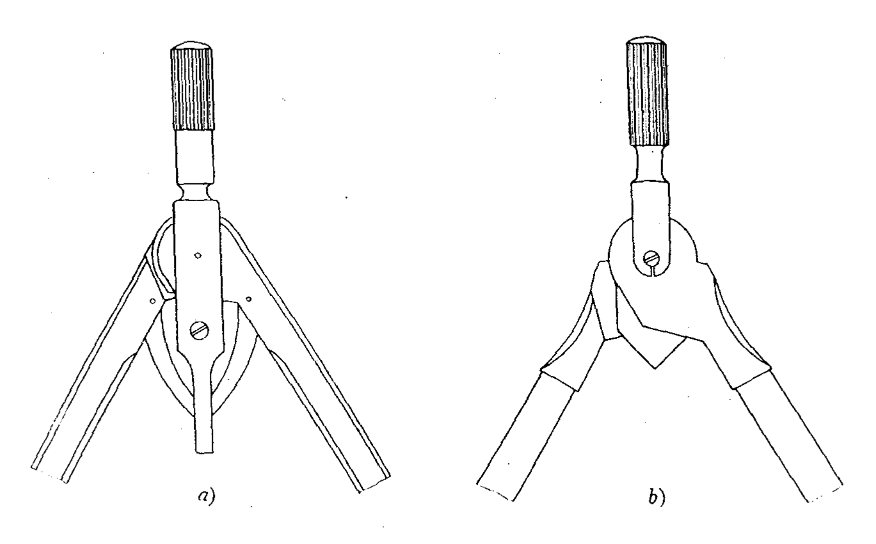


Fig. I, 43. *Articulaciones de compases:* a) *tipo de precisión;* b) *tipo ordinario.*



12. Tiralíneas

Fig. I, 44. *Tiralíneas abierto para que se vea cómo ha de limpiarse después de usarlo.*

Los estuches de compases contienen también los *tiralíneas* (fig. I, 44), empleados para el trazado con tinta de líneas rectas y de arcos de circunferencia, reemplazando en este caso a la pieza portaminas del compás.

Mediante un cuentagotas apropiado se introduce en el tiralíneas una gota de tinta china; esta gota *no ha de ser ni muy abundante ni muy escasa;* si es escasa, se vacía el tiralíneas muy rápidamente y puede darse el caso de que, al trazar una línea larga y bastante gruesa, quede vacío antes de terminarla; si la carga de tinta es excesiva, aparte del peligro de que se derrame por un lado una gota de tinta, produciendo una mancha, ocurre siempre que la línea trazada no tiene un grueso uniforme.

La separación de las hojas del tiralíneas se gradúa mediante un tornillo especial. Muchos tiralíneas tienen la cabeza de dicho tornillo provista de una graduación que permite regular con precisión el grueso de la línea que se traza. Sin embargo dicho grueso depende de muchos factores (carga de tinta más o menos abundante, presión de la mano, calidad del papel, etc.); por este motivo muchos dibujantes prefieren graduar a ojo dicho grosor, obteniendo, con alguna práctica, mejores resultados.

La tinta del tiralíneas tiene tendencia a secarse, especialmente en las puntas. *Si se ha de interrumpir por unos instantes el uso del tiralíneas, se dejará con su punta apoyada sobre un trozo de papel o también sobre una esponjita* humedecida; de esta manera, el tiralíneas podrá continuar trazando líneas sin dificultad, aun después de una interrupción de muchos segundos. Cuando la interrupción haya de ser larga, o al final del trabajo, se ha de abrir el tiralíneas girando una de sus dos hojas y limpiarlo cuidadosamente con un pedacito de tela; en el caso de que haya quedado tinta seca, se puede quitar *con una bolita de algodón empapada en alcohol; nunca se debe usar* con tal objeto *hoja metálica* alguna ni otra cosa que pueda estropear el tiralíneas.

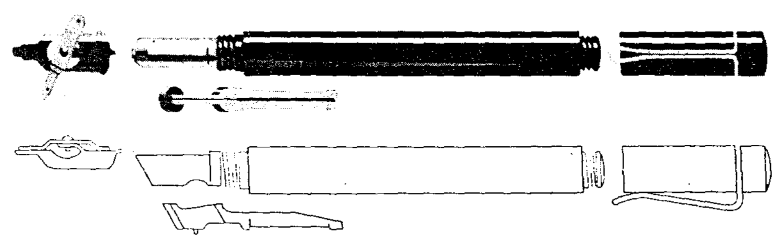


Fig. I, 45. *Pluma* graphos *en despiece y constitución esquemática.*

Pero hace varios años que los tiralíneas han perdido gran parte de su importancia, al ser sustituidos por las *plumas graphos* (fig. I, 45). Son parecidas a las plumas estilográficas, y se cargan con tinta china; se les aplica una serie de plumillas especiales fácilmente intercambiables. Cada plumilla traza centenares y millares de líneas, todas del mismo ancho, sin necesidad de rellenarlas continuamente de tinta.

Hay plumillas para *trazar líneas rectas y curvas* de los dibujos, para *escribir letras y números,* y para diversos usos, como puede verse en las figuras I, 46-50.

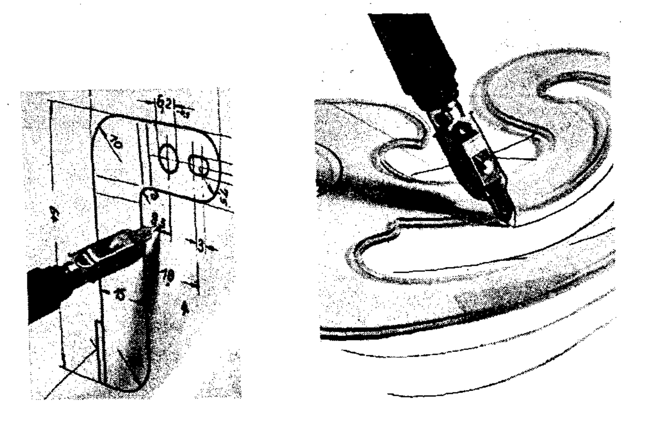


Fig. I, 48 Fig. I, 49

Figs. I, 48-49. *Uso de la pluma* graphos *con plantilla.* 49. *Uso de la pluma* graphos *para escribir las acotaciones en los dibujos.*

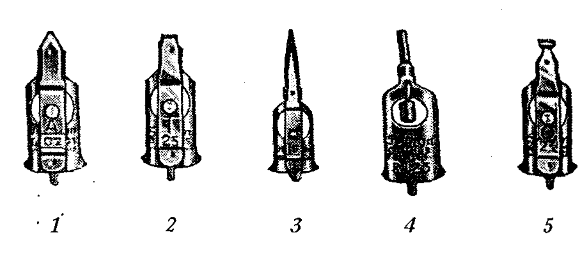


Fig. I, 46. *Algunos tipos de plumillas* graphos: 1) *tipo normal para el trazado de líneas finas;* 2) *tipo para líneas gruesas;* 3) *plumilla para dibujo a pulso;* 4) *plumilla tubular para normógrafos y plantillas;* 5) *tipo de punta plana para letra redondilla y cursiva.*

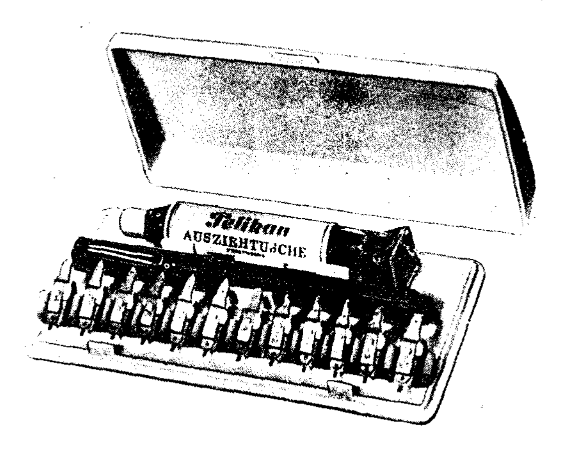


Fig. I, 47. *Estuche con un surtido de plumillas, pluma* graphos *y tinta.*

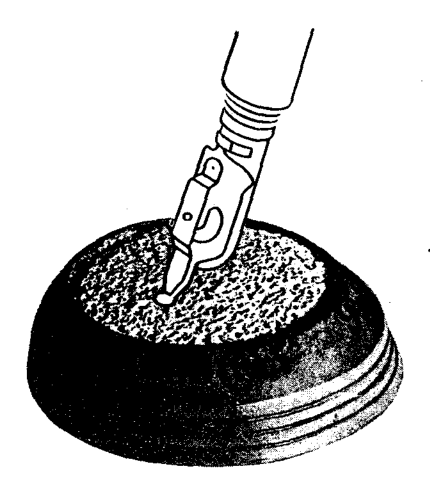


Fig. I, 50. *Modo de dejar la pluma* graphos *durante una breve interrupción de su uso.*

Las plumillas para el trazado de líneas rectas mediante regla y escuadra pueden tener los anchos indicados por los trazos de la figura I, 51.



Fig. I, 51. *Gruesos de las líneas que se pueden trazar con plumillas* graphos.

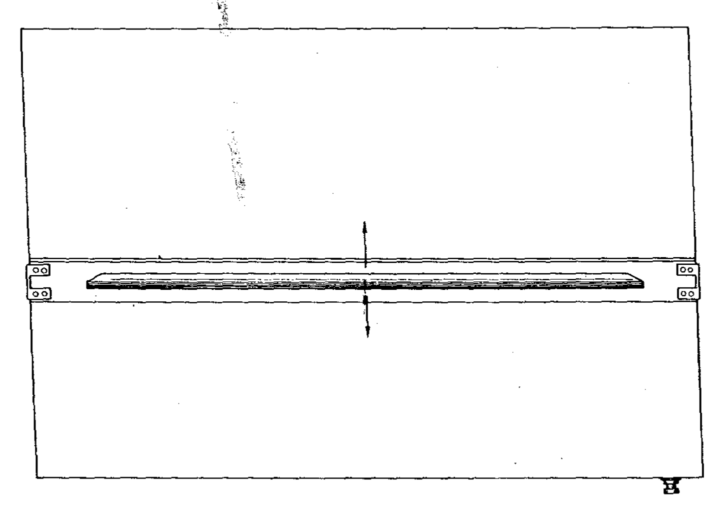
Análogo resultado se obtiene con el empleo de otros tipos de plumas basadas en el mismo principio de carga continua; citaremos el *radiograph*, utilísimo para indicaciones escritas y acotaciones.

13. Goniómetros

Para medir en un dibujo el ángulo formado por dos rectas o para trazar una recta que forme un ángulo dado con otra recta, con la aproximación suficiente exigida normalmente por el dibujo, se emplean los *goniómetros*. Las figuras I, 52 y 53 representan dos tipos de goniómetros y el modo de usarlos.

Fig. I, 53. *Goniómetro de circunferencia entera, que permite trazar con rapidez ángulos de 0° a 360°.*

Fig. I, 52. *Goniómetro (media circunferencia).*



14. Regla paralela

Todavía es de uso muy frecuente por los dibujantes, a veces junto con el tecnígrafo, del que se tratará en el número siguiente. La regla paralela está constituida como indica la figura I, 54. Tiene una longitud igual a la anchura del tablero de la mesa; está provista de dos abrazaderas fijadas en la cara posterior del tablero, a un cordón metálico (fig. I, 55) que puede deslizarse por una pequeñas poleas acanaladas, dispuestas de modo que la regla se puede mover hacia arriba y hacia abajo, pero manteniéndose constantemente paralela a sí misma.

Para trazar numerosas rectas paralelas y muy poco separadas unas de otras, se puede emplear el sencillo aparato indicado en la figura I, 56. Girando el tornillo, una de las dos reglas se separa o se aproxima a



Fig. I, 54. *Regla paralela. Fijada al tablero de dibujo, se desliza sobre dicho tablero, permaneciendo constantemente paralela a sí misma. Está provista de una parte saliente, que permite sostener los lápices, gomas, etc.*

la otra, permaneciendo paralelas entre sí; con la debida regulación de la rotación del tornillo, se posibilita el trazado de una gran serie de segmentos paralelos y equidistantes, por lo que este aparato está muy indicado para el trazado de rayados (fig. I, 57).

Fig. I, 55. *La traslación de la regla corredera se efectúa por el deslizamiento de un delgado cable metálico, representado en esta figura, por la garganta de 6 poleítas montadas sobre pequeñas abrazaderas en la parte posterior del tablero.*

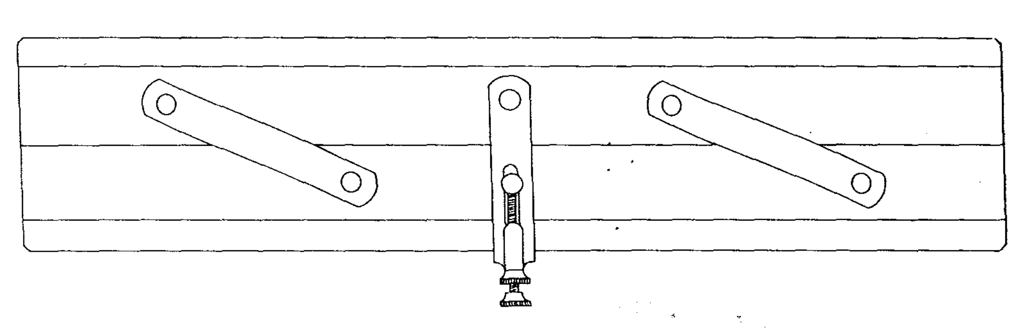
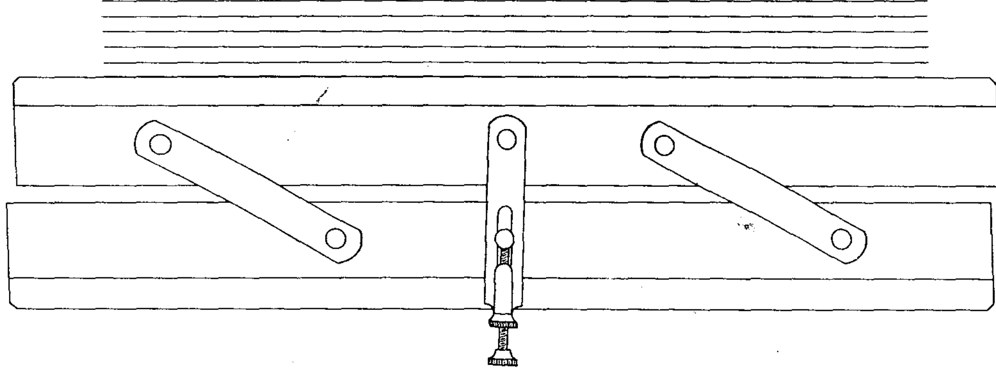


Fig. I, 56. *Instrumento para el trazado de rectas paralelas de separación graduable.*

Fig. I, 57. *Uso del aparato indicado en la* figura I, 56, *Girando el tornillo, la parte móvil se aleja o se acerca a la parte fija, manteniéndose paralelas ambas. La parte fija se apoya en una regla T, o bien se sujeta con la mano. Se utiliza para el trazado de rayados de grandes dimensiones.*



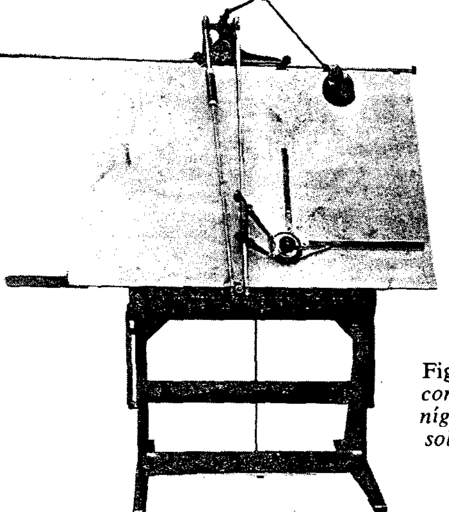


Fig. I, 58. *Mesa con un moderno tecnígrafo de corredera sobre guías ortogonales.*

15. Tecnígrafo - Pantógrafo

Hoy día todas las mesas de dibujo están provistas del tecnígrafo, que permite una gran rapidez en la ejecución de los dibujos, siendo por lo tanto un instrumento utilísimo para los dibujantes.

Un tecnígrafo se compone de dos reglas que forman entre sí un ángulo exacto de 90°, fijadas con la máxima solidez a una escuadra que forma parte de la cabeza del tecnígrafo (fig. I, 24), la cual está provista de un puño para la maniobra del aparato. La posición normal de la escuadra es tal, que las dos reglas son paralelas, respectivamente, a la base y a la altura del tablero. La cabeza está unida al tablero mediante un sistema de palancas, de forma que puede moverse libremente, en contacto con el mismo, de un punto a

otro de toda la superficie del dibujo. Se comprende fácilmente que, cogiendo con una mano el puño, por un sencillo movimiento de traslación al sitio que fuere menester, es fácil trazar, sin la ayuda de escuadra ni de construcciones geométricas, segmentos paralelos y perpendiculares entre sí y a los lados del tablero, en cualquier punto del plano del dibujo.

Además, apretando una palanca y moviendo el correspondiente tornillo, la escuadra que forma parte de la cabeza del tecnígrafo queda libre para girar el ángulo que se desee, graduable con el goniómetro de dicha cabeza, que se fija luego en la nueva orientación deseada. Se tiene, pues, la posibilidad de trazar series de rectas perpendiculares y paralelas, con cualquier inclinación sobre la horizontal, en cualquier punto del plano del dibujo (figs. I, 72-74).

La condición necesaria que deben satisfacer los tecnígrafos es que su cabeza, colocada en un punto cualquiera del plano del dibujo, no tenga la más mínima tendencia a moverse en dirección alguna, ni a deslizarse por la inclinación del tablero.

Para lograr este resultado se han ideado hace tiempo dos mecanismos: el de resorte y el de contrapeso.

En los *tecnígrafos de resorte,* la tensión de éste es regulable, con lo cual se puede obtener fácilmente un equilibrio perfecto para determinada inclinación del tablero; pero cuando convenga variar la inclinación del mismo, se tiene que proceder a una nueva regulación del resorte. La inclinación del tablero, como ya se sabe, se gradúa generalmente maniobrando los pedales de la mesa (fig. I, 24).

En cambio, en los *tecnígrafos de contrapeso* se logra el equilibrio de la parte móvil mediante un contrapeso, que puede deslizarse a lo largo de una barra, para obtener la regulación necesaria (fig. I, 25).

Modernamente se ha introducido el uso de un nuevo tipo de tecnígrafo, de corredera sobre guías ortogonales, que parece tener algunas ventajas sobre los tipos antes descritos (fig. 58).

Para un dibujante el tecnígrafo es un instrumento absolutamente insustituible.

Mencionamos también aquí los *pantógrafos* paralelógramos articulados (fig. 59), que se pueden utilizar para reproducir aumentada o disminuida en una proporción dada, cualquier figura plana.

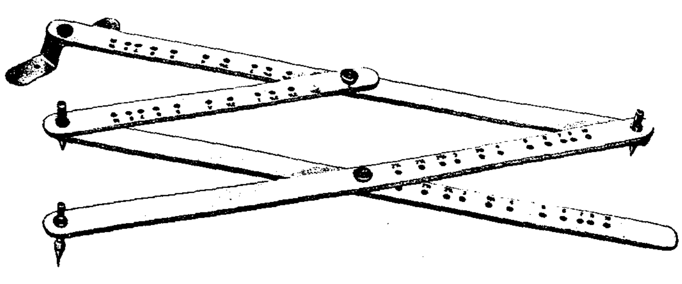


Fig. I, 59. *El pantógrafo es un instrumento que puede ser precioso para el dibujante, para reproducir, a una escala dada, figuras o plantillas que no se puedan dibujar fácilmente mediante sencillas construcciones geométricas. Fijado por medio de la abrazadera de sujeción al tablero, con una de las puntas se resigue la curva, contorno de la figura o de la plantilla. La otra punta (provista de lápiz) traza, sobre el papel en que se apoya, la misma curva, ampliada o reducida.*

16. Uso de los instrumentos de dibujo

Las escuadras y cartabones se usan generalmente para trazar segmentos paralelos o perpendiculares entre sí, o formando ángulos de 30°, 45° o 60° respecto a una dirección base.

Para ello se deben deslizar apoyados sobre una regla o una regla T, o bien sobre una segunda escuadra. Esta traslación ha de hacerse de manera que la escuadra no se mueva sobre la última línea trazada. Esto debe observarse especialmente al reseguir con tinta los dibujos, para evitar que la tinta, todavía fresca, se corra sobre el dibujo, causando manchas y rebabas al pasar la escuadra sobre la misma.

Las figuras I, 60-76 aclararán los conceptos antes expresados sobre el uso de los instrumentos de dibujo.

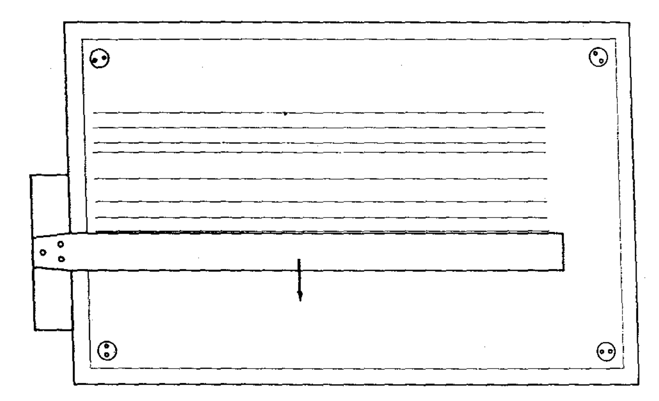


Fig. I, 60. Uso de la regla T. *Cualquiera que sea el tipo de regla T empleado, ha de poderse deslizar en contacto con el borde izquierdo del tablero. El paralelismo efectivo de las líneas dibujadas depende de la rigidez de la regla T, y de que el borde del tablero sobre el que se desliza sea perfectamente plano y recto.*

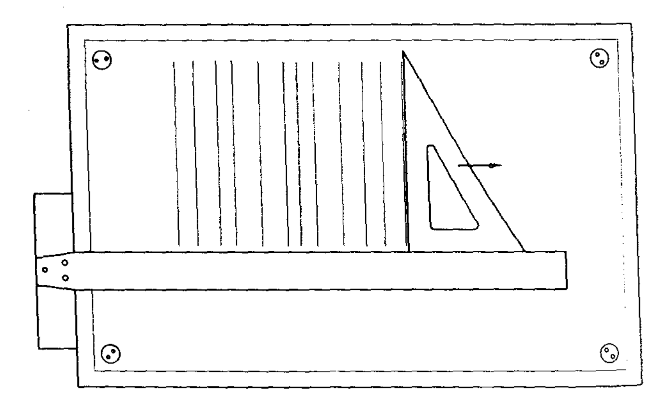


Fig. I, 61. Uso de la escuadra apoyada sobre la regla T para el trazado *de rectas paralelas al lado corto del tablero. Al mover la escuadra se ha de tener el máximo cuidado para que la regla T se apoye perfectamente sobre el borde del tablero, pues tiene tendencia a inclinarse hacia abajo.*

Fig
con

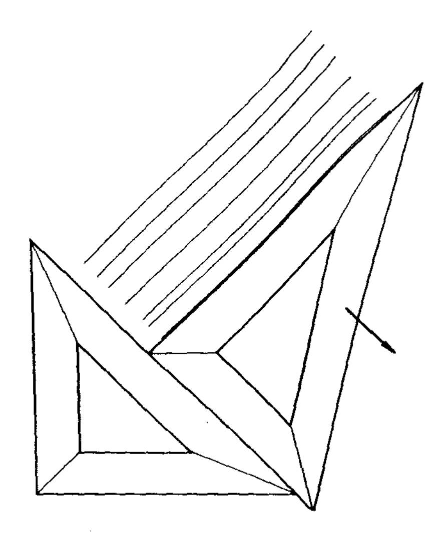


Fig. I, 62. *Uso de la escuadra para el trazado de segmentos paralelos con una inclinación cualquiera. El cartabón se desliza sobre una escuadra, que se mantiene fuertemente apretada sobre el papel del dibujo.*

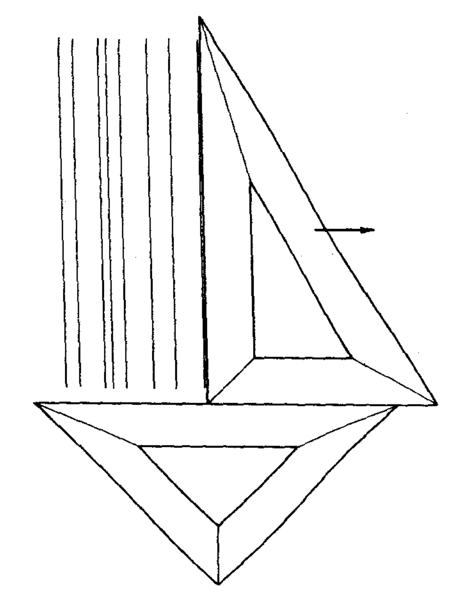


Fig. I, 63. *Si no se dispone de una escuadra T, se puede sustituir por una segunda escuadra para apoyo del cartabón.*

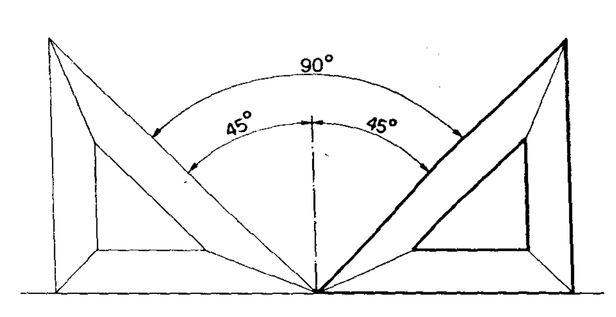


Fig. I, 64

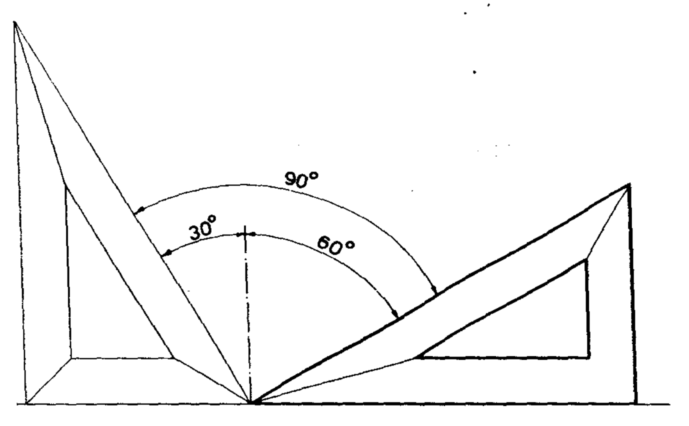


Fig. I, 65

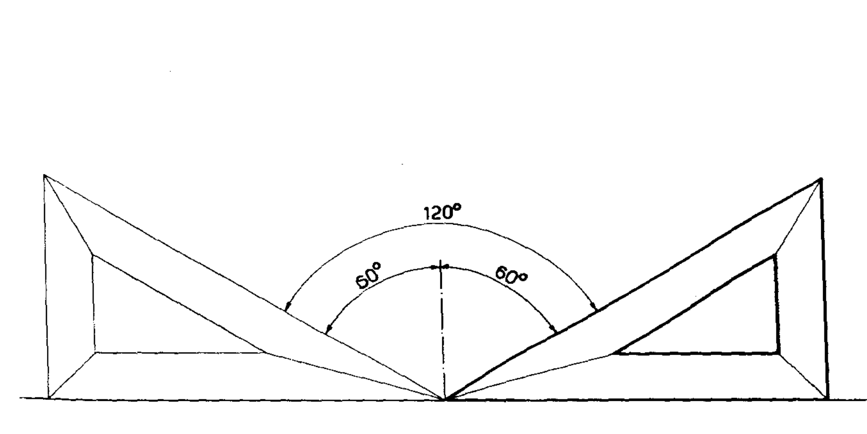


Fig. I, 66

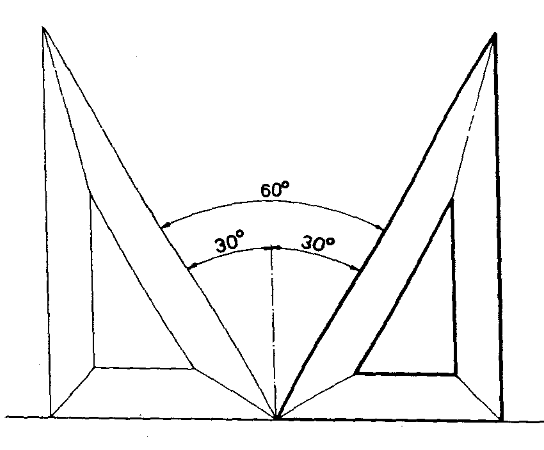


Fig. I, 67

Figs. I, 64-67. *Todas las escuadras, durante su uso, se han de poder rebatir de modo que se apoyen sobre la hoja del dibujo con una u otra de sus caras; y se han de poder girar si conviene. De este modo se pueden trazar fácilmente los ángulos más corrientes (30°, 60°, 90°, 120°, etc.).*

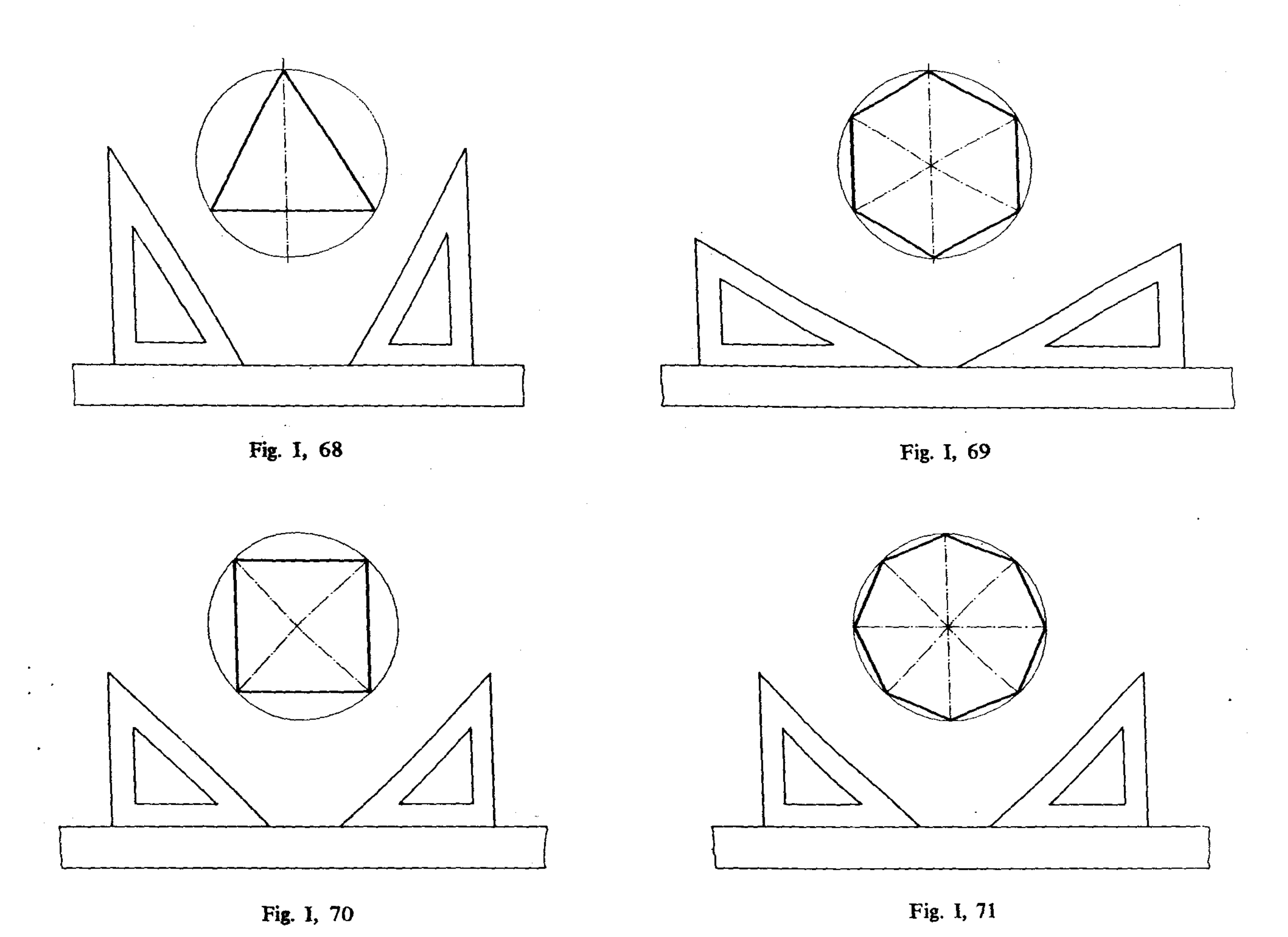


Fig. I, 68

Fig. I, 69

Fig. I, 70

Fig. I, 71

Figs. I, 68-71. *Aplicando los conceptos representados en las figuras que preceden, se pueden inscribir polígonos regulares en una circunferencia, con gran facilidad y rapidez;* 68) *triángulo equilátero;* 69) *hexágono regular;* 70) *cuadrado;* 71) *octágono.*

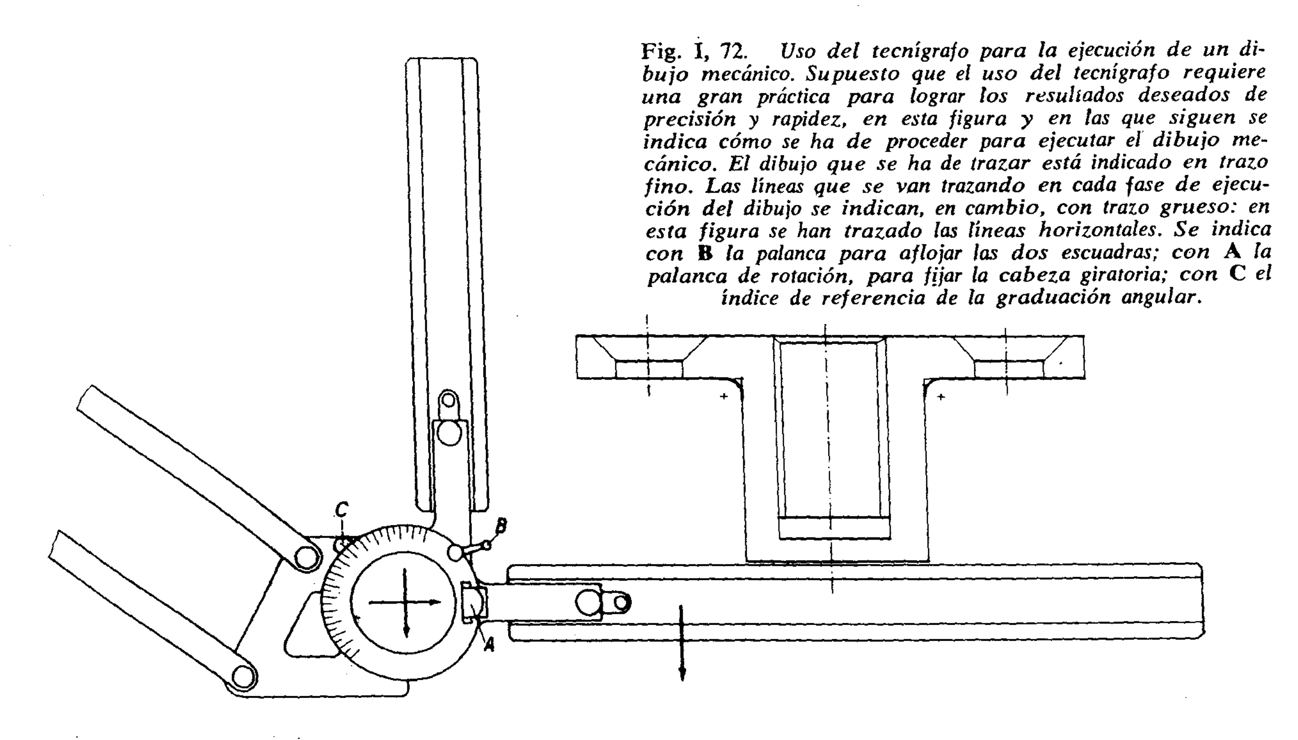


Fig. I, 72. *Uso del tecnígrafo para la ejecución de un dibujo mecánico. Supuesto que el uso del tecnígrafo requiere una gran práctica para lograr los resultados deseados de precisión y rapidez, en esta figura y en las que siguen se indica cómo se ha de proceder para ejecutar el dibujo mecánico. El dibujo que se ha de trazar está indicado en trazo fino. Las líneas que se van trazando en cada fase de ejecución del dibujo se indican, en cambio, con trazo grueso: en esta figura se han trazado las líneas horizontales. Se indica con* **B** *la palanca para aflojar las dos escuadras; con* **A** *la palanca de rotación, para fijar la cabeza giratoria; con* **C** *el índice de referencia de la graduación angular.*

Especialmente en las figuras **I, 75 y 76** se indica el uso de las plantillas para el trazado de curvas y enlaces; el uso de este importantísimo instrumento del dibujo se comprenderá mejor después del n.° 18, en el que daremos algunas nociones teóricas sobre enlaces.

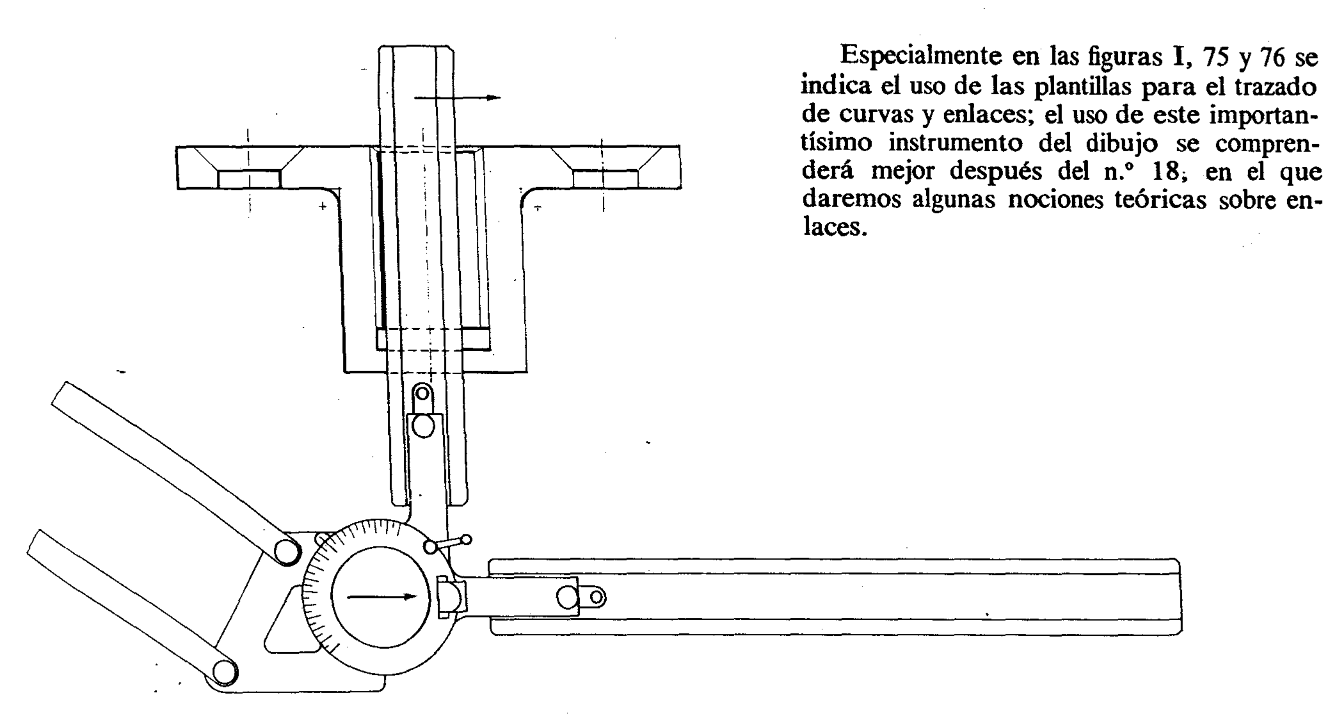


Fig. I, 73

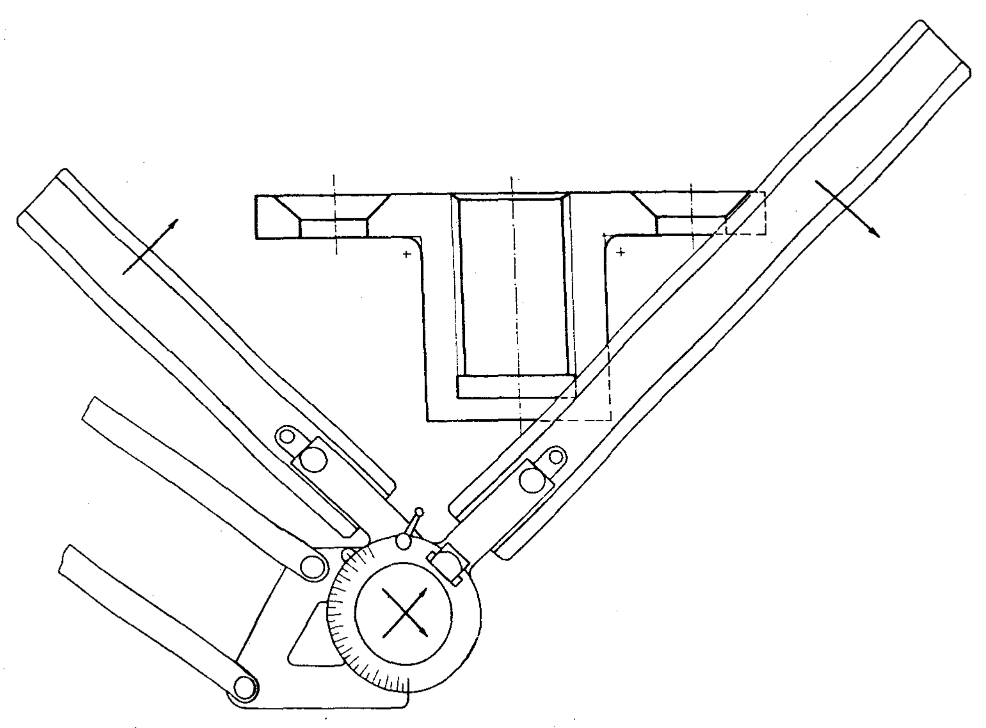


Fig. I, 74

Figs. I, 73-74. *Una vez trazadas las líneas horizontales* (fig. 72), *se procede a trazar todas las verticales, sirviéndose de la regla vertical del tecnígrafo* (fig. I, 73).

Para trazar ahora las rectas inclinadas, se afloja la palanca **B** (fig. 72); se desbloquea, mediante la palanca **A**, la escuadra que sostiene las dos reglas del tecnígrafo y se hace girar dicha escuadra el ángulo necesario. En el caso que representa la fig. 74, la rotación que se ha de efectuar es de 45°, pero puede efectuarse de cualquier ángulo. Para los ángulos de 30°, 45°, 60°, los tecnígrafos acostumbran tener fijación automática. Para los otros ángulos, la posición de la escuadra con sus reglas se debe fijar con exactitud, valiéndose del goniómetro y de la palanca **A**.

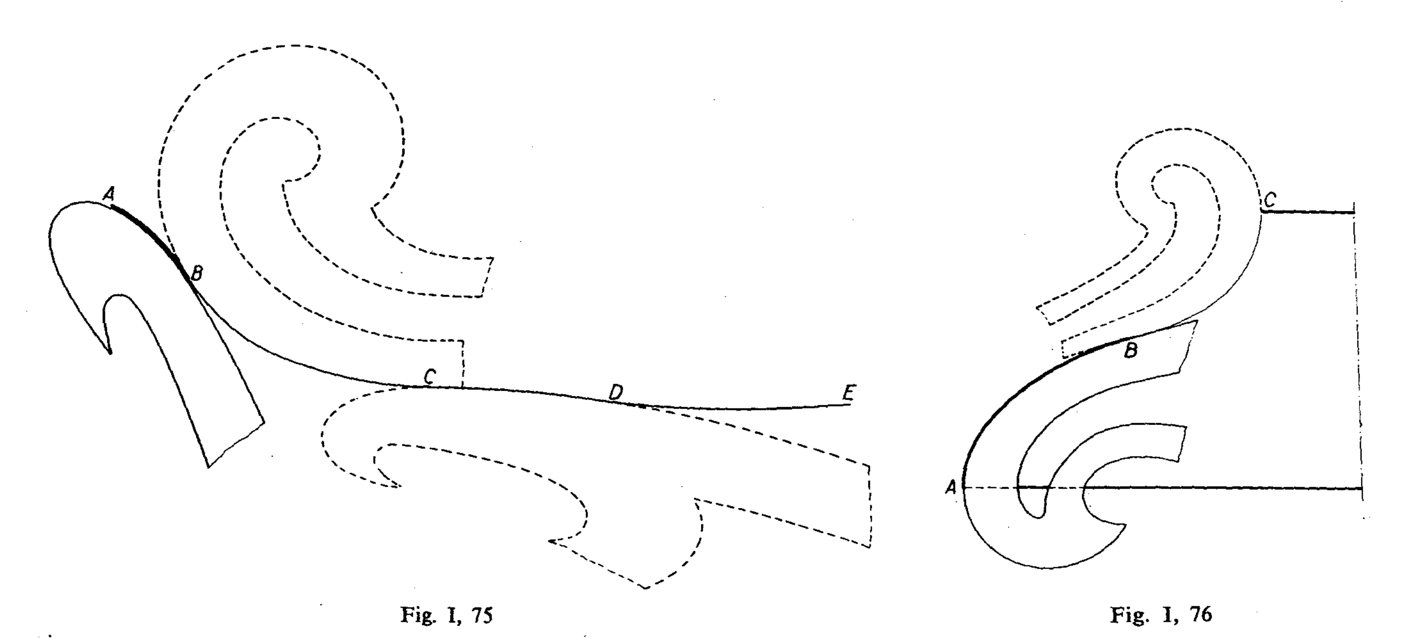


Fig. I, 75 Fig. I, 76

Figs. I, 75 y 76. *En estas figuras se indica cómo se puede emplear la plantilla de curvas para el trazado de estas líneas. Por tanteo, se coloca la plantilla de modo que coincida exactamente con un segmento de la curva, que se traza seguidamente. Es conveniente dejar en blanco un pequeñísimo espacio entre dos trazos consecutivos (un mm o aún menos), para unirlos luego, a pulso, con una plumilla fina de dibujo. En la fig. I, 75, se ha indicado la forma de poder trazar la curva* ABCD *con 4 posiciones de la plantilla, o sea, con 4 trazos. En la fig. I, 76, la curva se ha trazado solamente con 2 trazos. A veces conviene subdividir la curva en muchos trazos y emplear varias plantillas. De todos modos, la plantilla para curvas es el instrumento de dibujo de más difícil uso.*

LAS PRINCIPALES CONSTRUCCIONES GEOMÉTRICAS

17. Generalidades

Muchas veces las líneas que, en su conjunto, constituyen un dibujo técnico, se pueden trazar simplemente empleando los instrumentos (escuadras, reglas, goniómetros, compases, etc.) de que se ha habladc en las páginas anteriores, sin necesidad de recurrir a técnicas especiales. Pero, en cambio, muchas veces es necesario recurrir a construcciones geométricas especiales, que el dibujante debe conocer y saber ejecutar con precisión y rapidez. Tales son, por ejemplo, la bisección y transporte de un ángulo, la construcción de un polígono regular de cualquier número de lados, el trazado de una elipse, etcétera.

Las construcciones de este tipo expuestas en los manuales de dibujo técnico son numerosísimas. En el presente texto sólo se tratará de las que tienen una notoria y efectiva importancia para *el dibujante técnico*. Están explicadas e ilustradas en las figuras I, 77-127.

Para cuanto se relaciona con las definiciones de algunas curvas geométricas (elipse, parábola, hipérbola), véase el n.° 35.

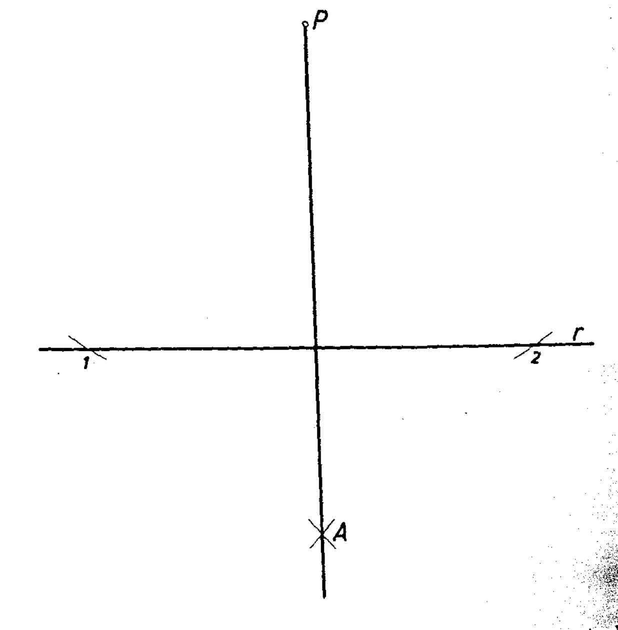


Fig. I, 77. **Problema n.° 1.** Dada una recta **r** y un punto **P** fuera de la misma, trazar por **P** la perpendicular a la recta **r**.
1) *Haciendo centro en* P, *con una abertura de compás cualquiera, pero suficiente (es decir, mayor que la distancia de* P *a* r*), se corta la recta* r *en los puntos* 1 *y* 2.
2) *Haciendo centro primero en* 1, *después en* 2, *con una misma abertura de compás cualquiera, se trazan dos arcos que se cortan en* A.
3) *Trazando una recta que pase por* P *y por* A, *queda resuelto el problema.*

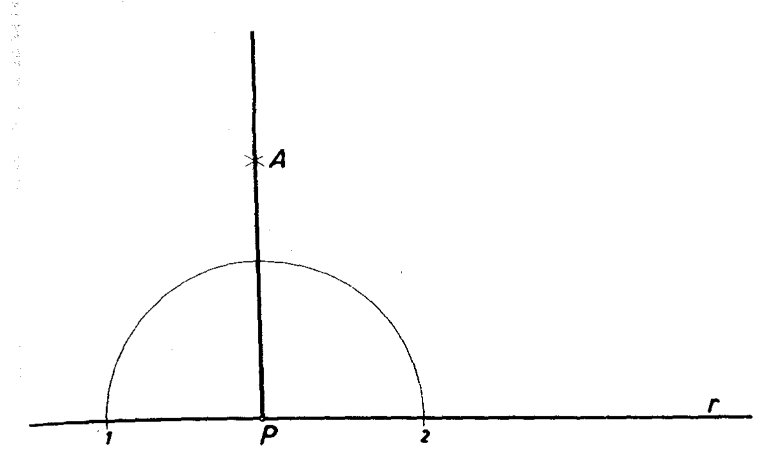


Fig. I, 78. **Problema n.º 2.** Dada una recta **r** y un punto **P** de la misma, trazar por **P** la perpendicular a la recta **r.**

1) *Haciendo centro en* P, *y con cualquier abertura de compás, se traza la semicircunferencia* 1-2.

2) *Haciendo centro en* 1 *y en* 2, *con una misma abertura cualquiera de compás, pero mayor que la anterior, se trazan dos arcos que se cortan en* A.

3) *La recta que pasa por* P *y* A *es la perpendicular pedida*

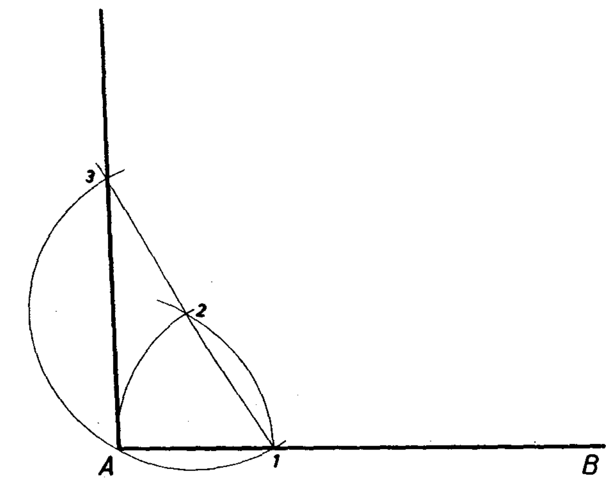


Fig. I, 79. **Problema n.º 3.** Dado un segmento **AB**, trazar una perpendicular por su extremo **A.**

1) *Haciendo centro en* A, *con cualquier abertura de compás, se traza el arco* 1-2.

2) *Con la misma abertura de compás, haciendo centro en* 1, *se traza el arco* A-2.

3) *Se traza la recta* 1-2, *que se prolonga hacia arriba.*

4) *Haciendo centro en* 2 *con radio* 2-1, *se traza el arco* 1-A-3.

5) *Uniendo* A *con* 3, *se obtiene la perpendicular pedida; en efecto, el ángulo* 1-A-3 *es recto porque está inscrito en una semicircunferencia.*

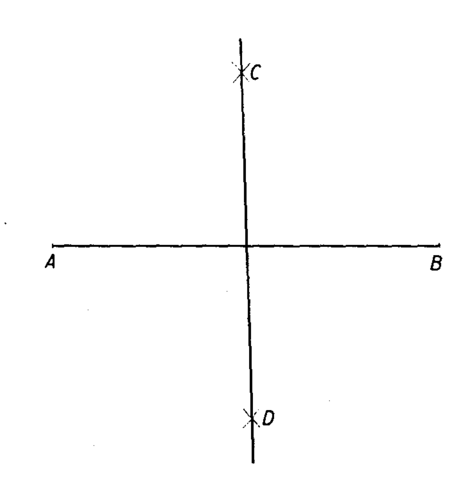


Fig. I, 80. **Problema n.º 4.** Construir el eje de un segmento dado **AB.**

Se recuerda la definición: **eje de un segmento es la perpendicular trazada al mismo por su punto medio.**

1) *Haciendo centro respectivamente en* A *y en* B, *con una misma abertura cualquiera de compás, pero mayor que la mitad del segmento dado se trazan por cada uno de los dos centros dos arcos de circunferencia que se cortan en* C *y* D.

2) *Uniendo* C *y* D, *se tiene el eje de* AB *pedido.* ...

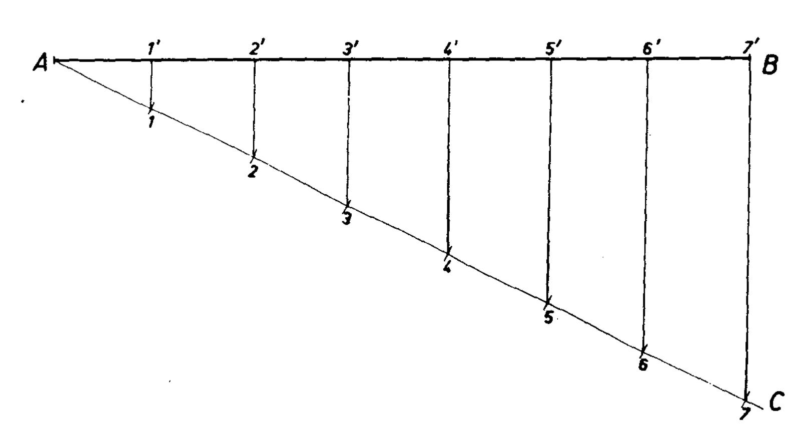


Fig. I, 81. **Problema n.º 5.** Dividir un segmento **AB** en un número dado de partes iguales *(en el ejemplo las partes pedidas son 7).*

1) *Por* **A** *se traza a voluntad una semirrecta* **AC.**

2) *Se marcan sobre* AC, *partiendo de* A, *7 segmentos iguales* A1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7 *de cualquier longitud.*

3) *Se une el punto 7 con el punto* B *y por los otros puntos de división* 1, 2, 3, *etc., se trazan otras tantas paralelas al segmento* 7B. *Estas paralelas cortan el segmento dado* AB *en los puntos* 1', 2', 3', 4', *etc., que resuelven el problema propuesto.*

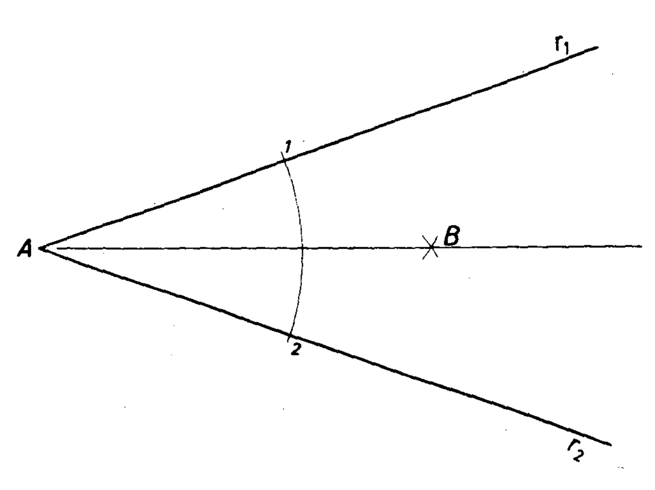


Fig. I, 82. **Problema n.º 6.** Bisección del ángulo formado por dos semirrectas $\mathbf{r_1}$ y $\mathbf{r_2}$ partiendo de un punto **A**.

1) *Haciendo centro en* A, *con una abertura cualquiera de compás, se traza un arco que corta a las dos semirrectas dadas en* 1 *y* 2.
2) *Haciendo centro respectivamente en* 1 *y en* 2, *se trazan dos arcos con un mismo radio cualquiera, que se cortan en* B.
3) *La semirrecta que pasa por* A *y* B *resuelve el problema propuesto.*

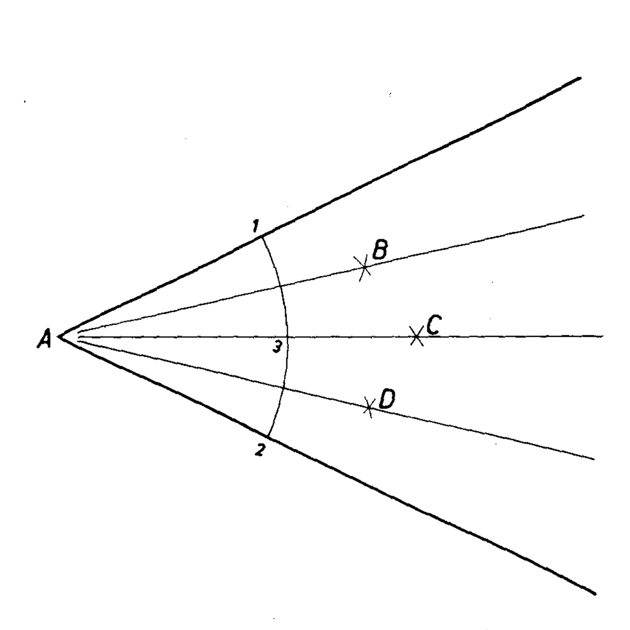


Fig. I, 84. **Problema n.º 8.** Dividir un ángulo en 4 partes iguales.

Este problema se resuelve aplicando 3 veces consecutivas la construcción de la bisectriz de un ángulo (problema n.º 6).
1) *Con la construcción n.º 6 se traza la bisectriz del ángulo.*
2) *Con la misma construcción se trazan las bisectrices de los ángulos* 1AC *y* CA2, *determinando así las otras dos semirrectas* AB *y* AD, *que junto con la* AC *resuelven el problema.*

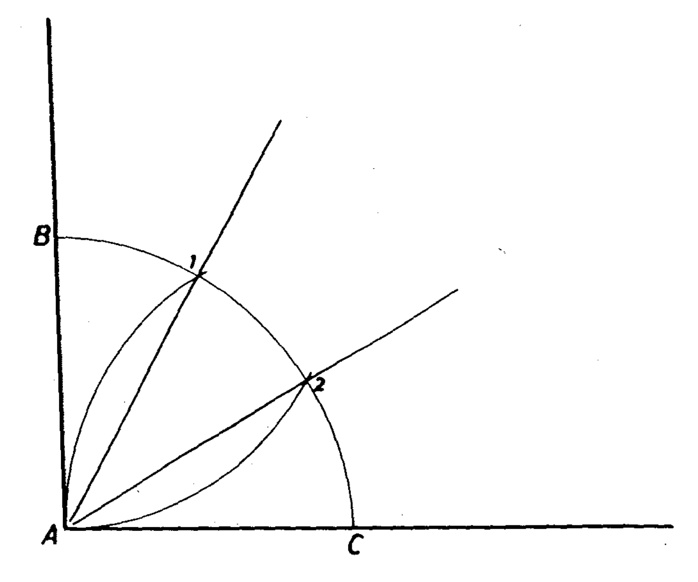


Fig. I, 83. **Problema n.º 7.** Trisección de un ángulo recto dado.

1) *Haciendo centro en el vértice del ángulo recto, con cualquier abertura de compás, se traza el arco* BC.
2) *Haciendo centro en* B *y en* C, *y siempre con la misma abertura de compás, se corta el arco* BC *en los puntos* 1 *y* 2.
3) *Uniendo el vértice del ángulo con los puntos* 1 *y* 2, *se tienen las dos semirrectas que resuelven el problema.*

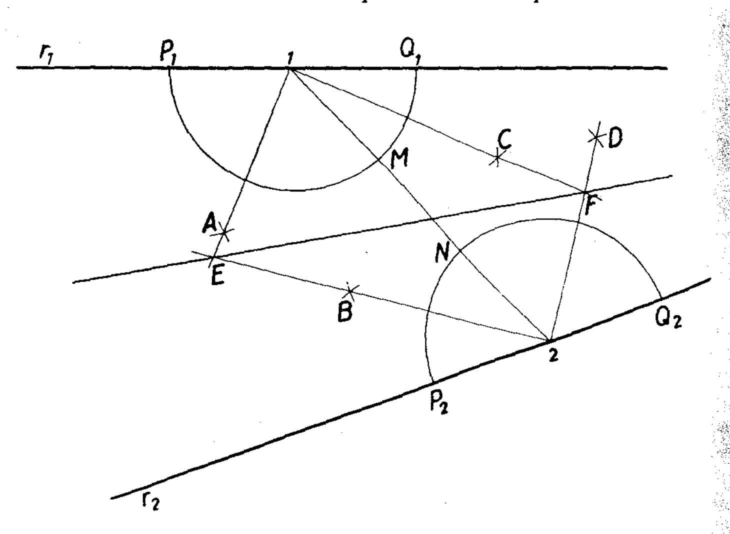


Fig. I, 85. **Problema n.º 9.** Construcción de la bisectriz de un ángulo cuyo vértice es inaccesible.

Este problema se presenta cuando se ha de trazar la bisectriz de un ángulo formado por dos rectas r_1 *y* r_2 *que no se cortan dentro de los límites del dibujo.*
1) *Haciendo centro en dos puntos cualesquiera* 1 *y* 2, *uno de cada recta, con un mismo radio cualquiera, se trazan dos semicircunferencias.*
2) *Se traza la recta* 1-2, *que cortará las dos semicircunferencias en* M *y* N.
3) *Aplicando la construcción n.º 6, se trazan las bisectrices de los ángulos* $P_1$1M; M1Q_1; $P_2$2N; N2Q_2.
4) *La recta que pasa por los puntos* E *y* F *de intersección de las bisectrices resuelve el problema.*

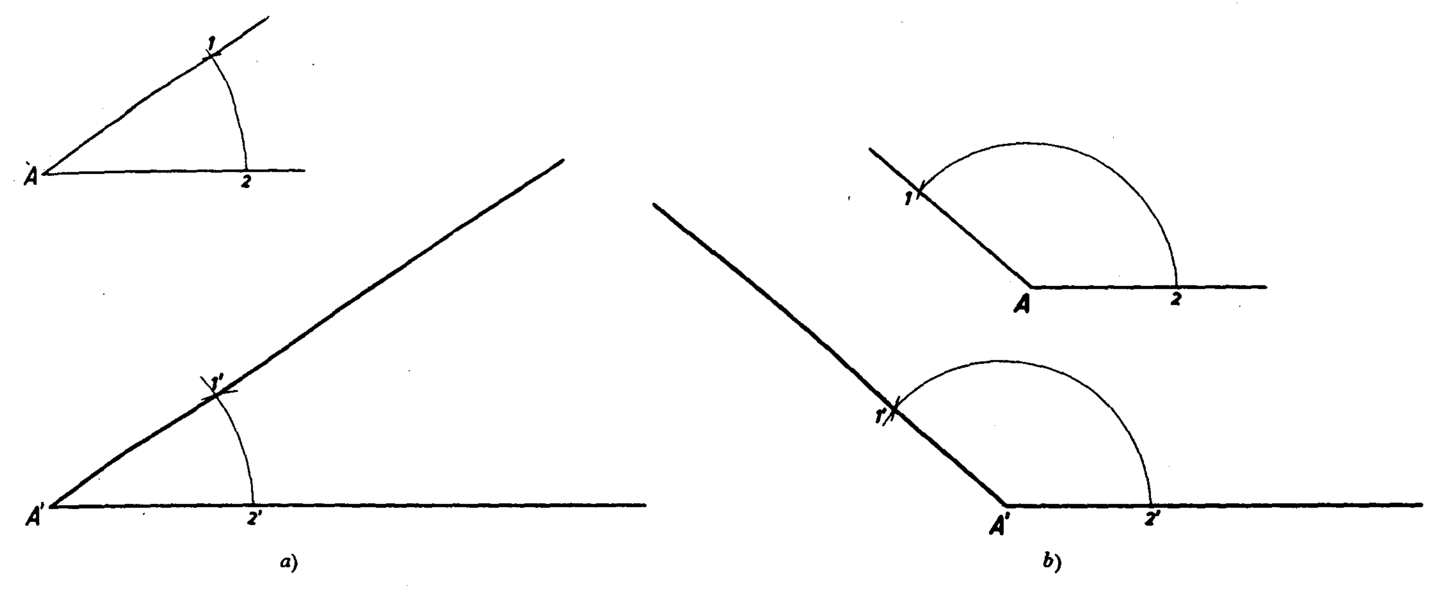


Fig. I, 86. **Problema n.° 10.** Construir un ángulo igual a otro ángulo dado por *1A2*..

1) *Haciendo centro en* A, *con un radio cualquiera, se traza el arco* 12.
2) *Sobre la semirrecta* A'2', *haciendo centro en* A', *y con el mismo radio escogido anteriormente, se traza el arco* 2'1'.
3) *Con una abertura de compás exactamente igual a la distancia entre los puntos* 1 *y* 2, *y haciendo centro en* 2', *se corta el arco trazado anteriormente en* 1'.
4) *Uniendo una recta* 1' *con* A' *se obtiene el ángulo* 1'A'2', *igual al ángulo dado.*
En la figura I, 86 b, *se ha repetido la misma construcción para un ángulo obtuso.*

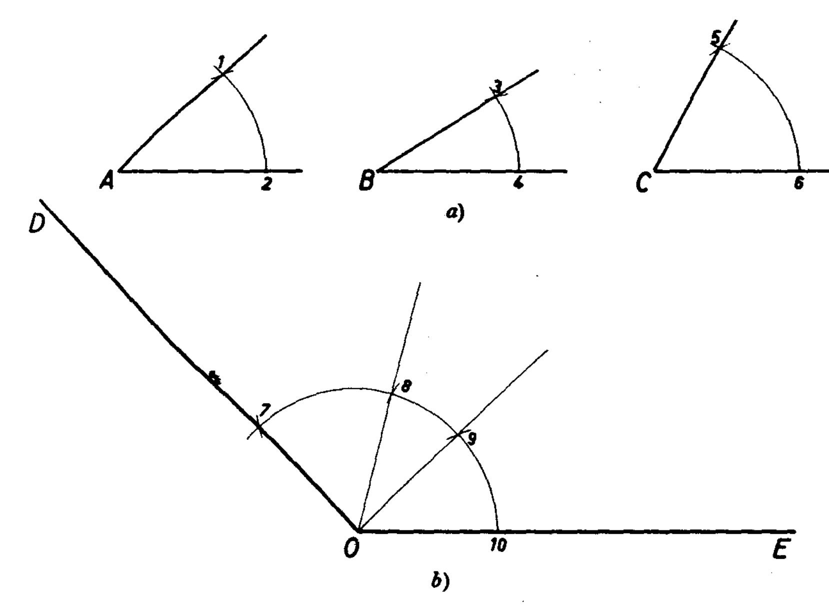
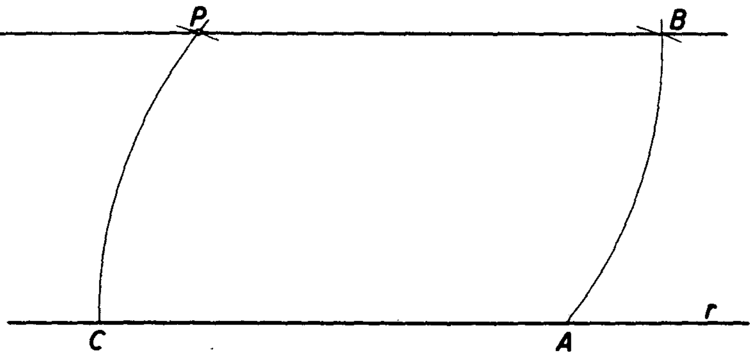


Fig. I, 87. **Problema n.º 11.** Construir un ángulo que sea la suma de dos o más ángulos dados *(en el ejemplo se consideran 3 ángulos* 1A2, 3B4, 5C6).

1) *Se traza la semirrecta* OD *y se aplica 3 veces consecutivamente la construcción precedente, transportando, uno a continuación de otro, los tres ángulos dados.*
2) *El ángulo* DOE *resuelve el problema.*
Obsérvese que el resultado es independiente del orden en que se transporten los ángulos (propiedad conmutativa).

Fig. I, 88. **Problema n.º 12.** Trazar una paralela a una recta **r** por un punto **P** exterior a la misma.

1) *Haciendo centro en* A, *escogido a voluntad, con radio* AP, *se traza un arco de circunferencia que corte en* C *a la recta* r.
2) *Haciendo centro en* P *y con el mismo radio se traza un arco* AB.
3) *Haciendo centro en* C, *se toma una abertura de compás igual a la distancia* CP.
4) *Haciendo centro en* A *y con el radio* CP *se corta en* B *el arco* AB *antes trazado.*
5) *Por los puntos* P *y* B *se traza la recta* PB, *que resuelve el problema.*



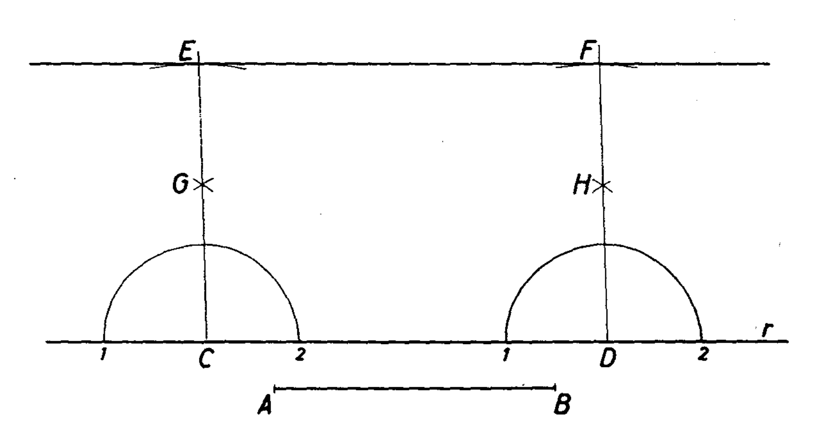


Fig. I, 89. **Problema n.º 13.** Trazar una paralela a una recta **r** a una distancia dada **AB**.

La paralela se puede trazar por encima o por debajo de la recta r. *En el ejemplo se traza por encima de* r.

1) *Por dos puntos cualesquiera* C *y* D *de la recta* r, *se trazan dos perpendiculares a dicha recta* r *(problema n.º 2).*

2) *Con una abertura de compás igual a* AB, *y haciendo centro sucesivamente en* C *y* D, *se cortan sobre las dos perpendiculares los segmentos* CE *y* DF *iguales a* AB.

3) *Uniendo* E *y* F *se tiene la paralela pedida.*

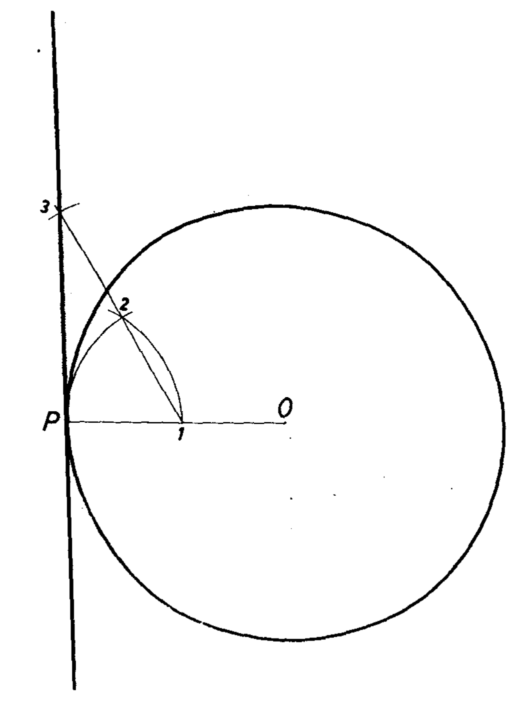


Fig. I, 90. **Problema n.º 14.** Trazar la tangente a una circunferencia en un punto **P** de la misma.

Recordando por la Geometría que la tangente es perpendicular al radio que pasa por el punto de contacto, el problema se reduce a trazar la perpendicular a un segmento OP *por su extremo* P *(problema n.º 3).*

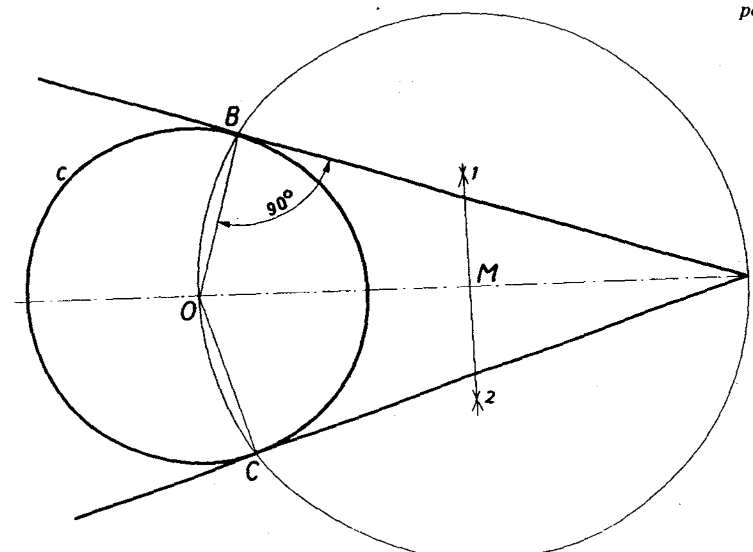


Fig. I, 91. **Problema n.º 15.** Dada una circunferencia **c** de centro **O**, trazarle una tangente por un punto exterior **P**.

1) *Se determina el punto medio* M *del segmento* OP *(construcción n.º 4).*

2) *Haciendo centro en* M *con radio* OM, *se traza una circunferencia que corta en* B *y* C *la circunferencia dada.*

3) *Las semirrectas* PB *y* PC *son las tangentes pedidas, por ser rectos los ángulos formados por las tangentes con los radios respectivos en los puntos de contacto, ya que están inscritos en una semicircunferencia.*

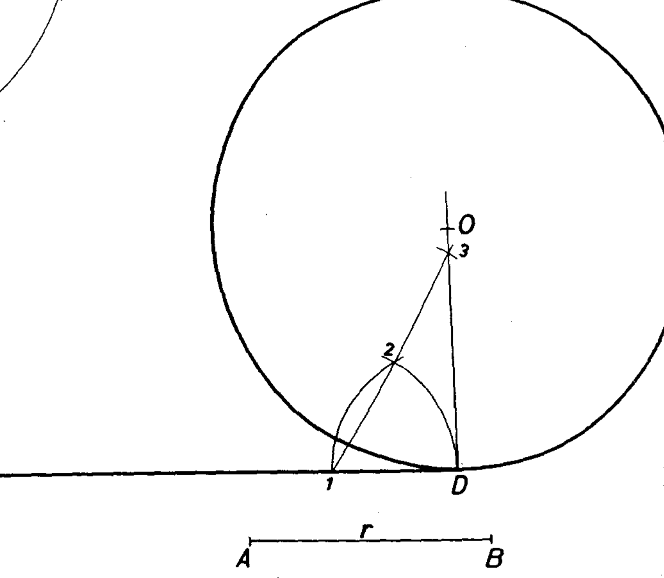


Fig. I, 92. **Problema n.º 16.** Trazar una circunferencia de radio **r**, tangente a un segmento **CD** en su extremo.

Este problema es el inverso del indicado en el número 14.

1) *Por el extremo* D *del segmento dado se levanta una perpendicular* D3, *con la construcción número 3.*

2) *Haciendo centro en* D, *con radio* r, *se corta esta perpendicular en* O.

3) *Haciendo centro en* O, *y con el mismo radio* r, *se traza la circunferencia, que resuelve el problema propuesto.*

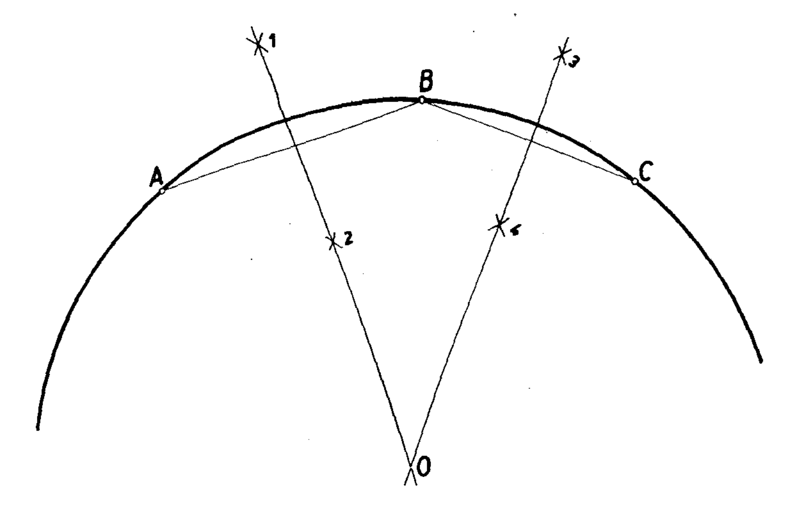


Fig. I, 93. **Problema n.º 17.** Trazar una circunferencia que pase por tres puntos dados **A**, **B** y **C**, que no están en línea recta.

1) *Se une* A *con* B *y* B *con* C, *trazando de este modo dos cuerdas de la circunferencia.*

2) *Teniendo presente que los radios perpendiculares a las cuerdas las cortan en su punto medio, se trazan los ejes de las cuerdas* AB *y* BC. *Su punto de intersección será el centro* O *de la circunferencia pedida, cuyo radio será* OA = OB = OC.

Fig. I, 94. **Problema n.º 18.** Trazar las tangentes exteriores a dos circunferencias dadas, externas una a otra y de diferentes radios **r** y **r'** (**r** > **r'**).

1) *Se unen los puntos* OO' *de ambas circunferencias y se determina el punto medio* E *de* OO' *(construcción n.º 4) y el punto* P *de intersección de la circunferencia mayor con* OO'.

2) *Con centro en* E, *se traza la circunferencia que pasa por* O *y* O'.

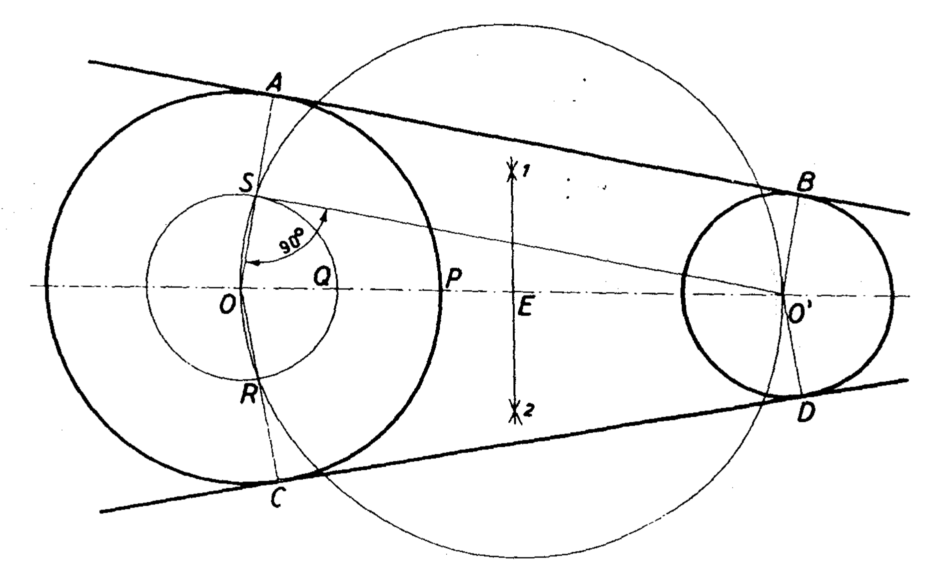
3) *Llevando desde* P *hacia* O *un segmento* PQ *igual a* r', *se tiene en* OQ *la diferencia entre* r *y* r'.

4) *Se traza la circunferencia con centro en* O *y radio* OQ, *determinando las intersecciones* R *y* S *con la circunferencia trazada en el número 2.*

5) *Uniendo* R *y* S *con* O, *se determinan sobre la circunferencia mayor los puntos de contacto* A *y* C *de las tangentes.*

6) *Trazando las rectas* O'B *y* O'D *respectivamente paralelas a* OA *y* OC, *se determinan sobre la circunferencia menor los puntos de contacto* B *y* D *de las tangentes.*

7) *Uniendo* A *con* B *y* C *con* D, *se tienen las tangentes pedidas.*



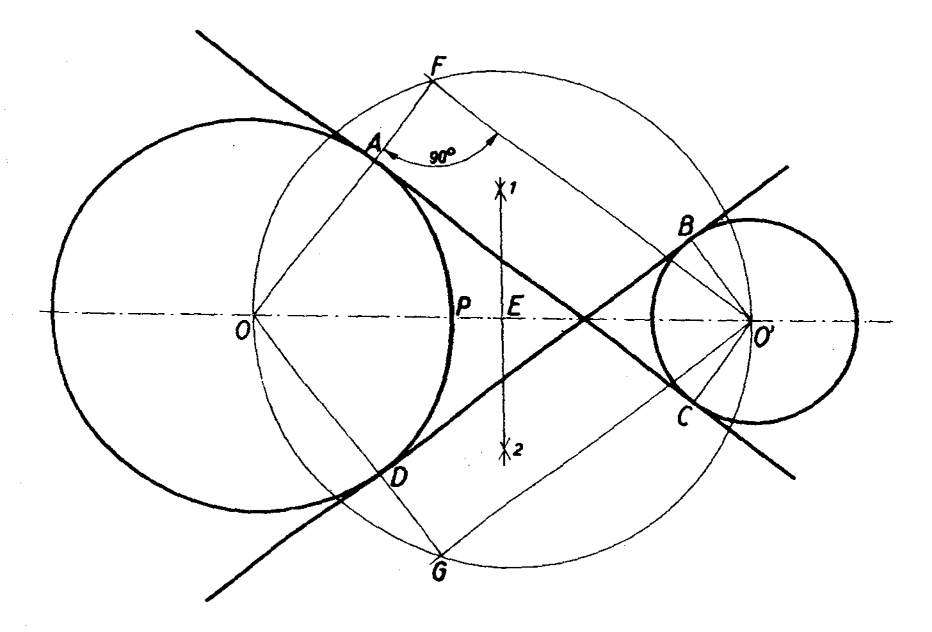


Fig. I, 95. **Problema n.º 19.** Trazar las tangentes interiores a dos circunferencias dadas con centros en **O** y **O'** y radios **r** y **r'**, externas una a otra.

1) *Se determina el punto medio* E *del segmento* OO' *(construcción n.º 4) y se traza la circunferencia con centro* E *y radio* EO = EO', *como en el problema anterior.*

2) *Haciendo centro en* O *y con radio* O'P, *distancia del centro* O' *a la circunferencia mayor, se corta la circunferencia anteriormente trazada en* F *y* G.

3) *Uniendo* O *con* F *y* G *se determinan los puntos de contacto* A *y* D *sobre la circunferencia mayor.*

4) *Trazando desde* O' *las* O'C *y* O'B, *respectivamente paralelas a* OA *y* OD, *se determinan los puntos de contacto* B *y* C *sobre la circunferencia menor.*

5) *Las rectas que unen* A *con* C *y* B *con* D *son las tangentes pedidas.*

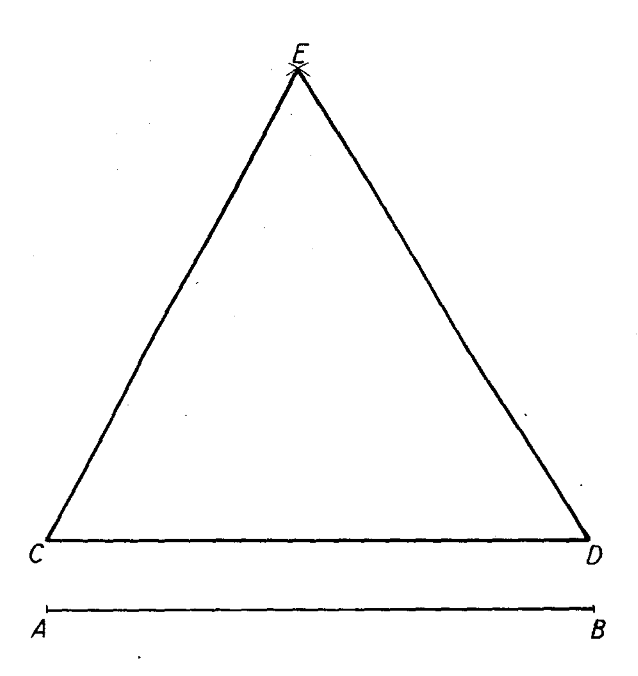


Fig. I, 96. **Problema n.° 20.** Construir un triángulo equilátero, dado un lado **AB**.

1) *Se traza la base* CD *del triángulo, igual a* AB.
2) *Con abertura del compás igual a* AB *y con centro respectivamente en* C *y en* D, *se trazan dos arcos de circunferencia que se cortan en* E, *tercer vértice del triángulo pedido.*
3) *Uniendo* C *y* D *con* E, *se resuelve el problema.*

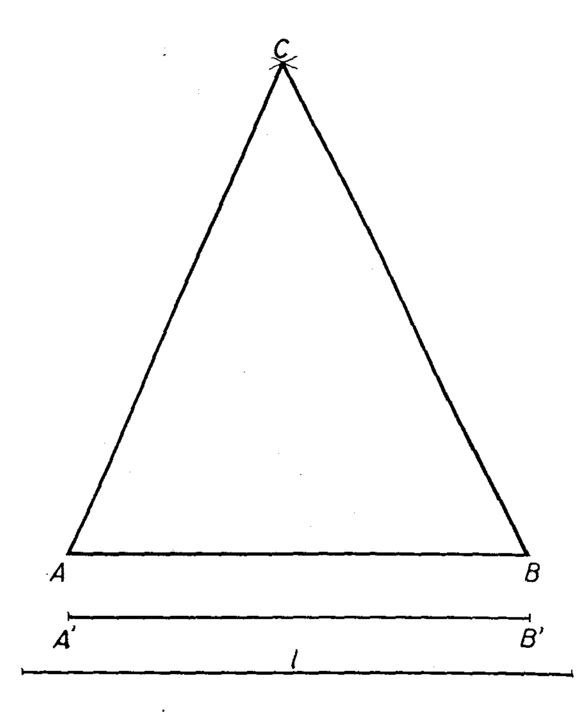
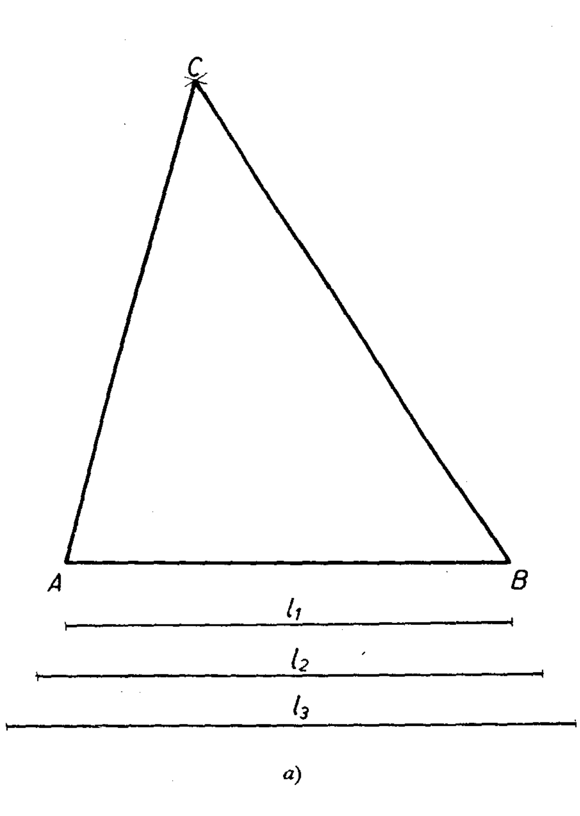
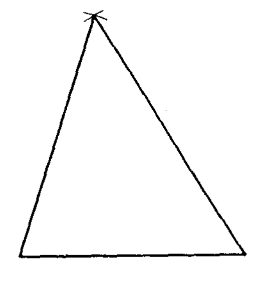


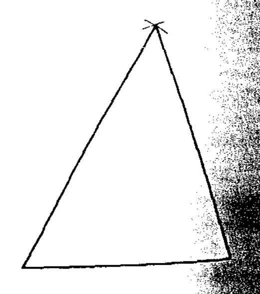
Fig. I, 97. **Problema n.° 21.** Construir un triángulo isósceles, dada la base **A'B'** y el lado **l**.

1) *Se traza la base* AB.
2) *Con abertura de compás igual a* l *y con centro respectivamente en* A *y en* B, *se trazan dos arcos, que se cortan en* C, *vértice del triángulo isósceles pedido.*
3) *Uniendo* A *y* B *con* C, *se resuelve el problema.*



a)





b)

Fig. I, 98. **Problema n.° 22.** Construir un triángulo e[illegible]caleno, dados los tres lados $\mathbf{l_1}$, $\mathbf{l_2}$, $\mathbf{l_3}$.

1) *Se traza la base* AB *del triángulo, igual, p.e.,* [illegible]
2) *Haciendo centro en* A *con radio* l_2 *y en* B [illegible] *radio* l_3, *se trazan dos arcos de circunferencia que se* [illegible]*tan en* C.
3) *Uniendo* A *y* B *con* C, *se resuelve el problema.*

Nota: *Intercambiando los lados* l_2 *y* l_3 *se obtienen* [illegible] *triángulos, aparentemente iguales* (fig. I, 98 *b*), que [illegible] *dos soluciones del problema geométrico.* Al resolver los [illegible]blemas técnicos se ha de poner atención en este caso [illegible] que generalmente uno solo de los dos triángulos repres[illegible] la solución de un problema tecnológico.

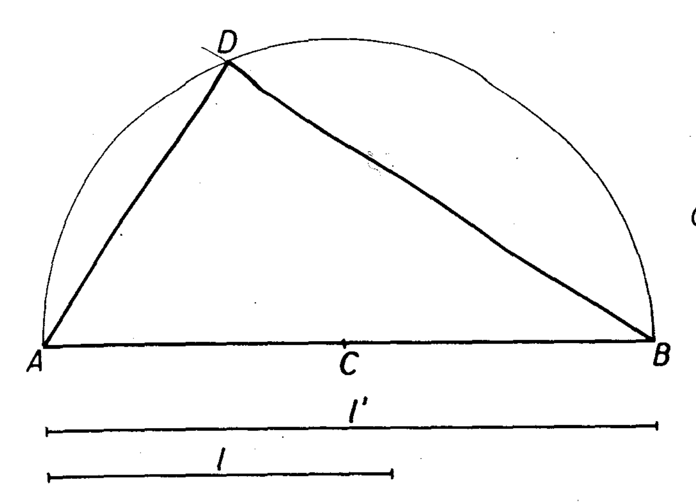


Fig. I, 99. **Problema n.º 22 bis.** Construir un triángulo rectángulo, dado un cateto **l** y la hipotenusa **l'**.

La construcción se basa en la propiedad de ser recto el ángulo inscrito en una semicircunferencia.

1) *Trazando* AB *igual a l', y determinando su punto medio* C, *se traza una semicircunferencia de diámetro* AB.

2) *Haciendo centro en* A *con radio igual a l, se traza un arco que corta en* D *la semicircunferencia.*

3) *Uniendo* D *con* A *y con* B *se tiene el triángulo rectángulo* ABD *pedido.*

Vale también para esta construcción la nota relativa al problema n.º 22.

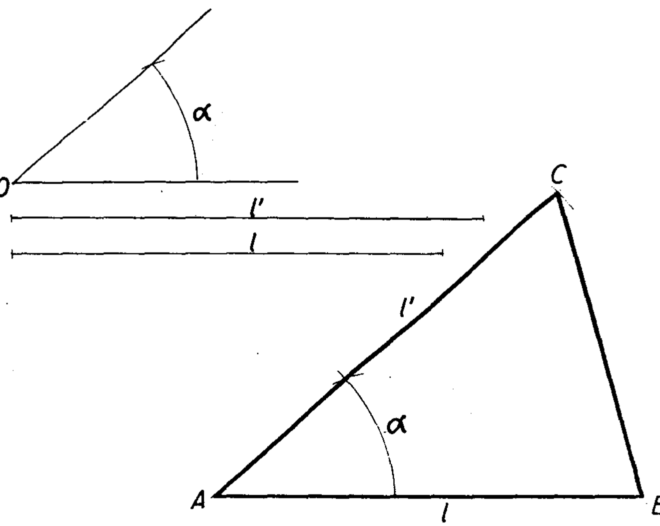


Fig. I, 100. **Problema n.º 23.** Construir un triángulo, dados dos lados **l** y **l'** y el ángulo comprendido *a*.

1) *Se traza un segmento* AB *de longitud igual a l.*

2) *Se construye sobre el mismo el ángulo α (construcción n.º 10).*

3) *Haciendo centro en* A, *con abertura de compás igual a l', se corta en* C *el segundo lado del ángulo.*

4) *Uniendo* A, B. C, *se resuelve el problema.*

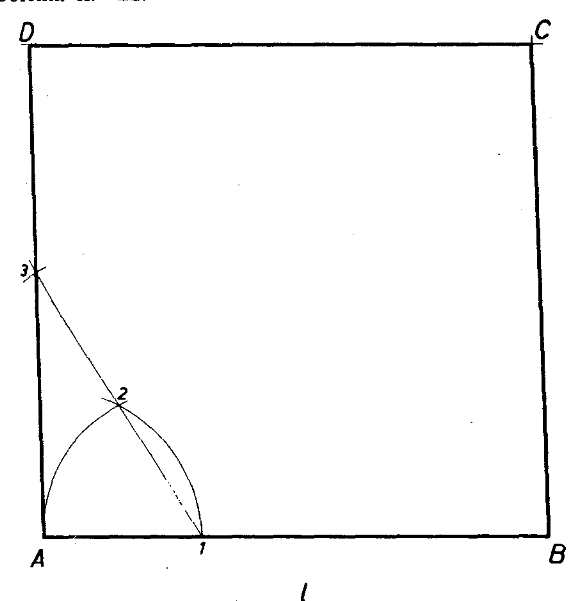


Fig. I, 101. **Problema n.º 24.** Construir un cuadrado, dado su lado **l**.

1) *Se traza el segmento* AB, *igual a l.*

2) *Por* A *se levanta la perpendicular a* AB *(construcción n.º 3).*

3) *Haciendo centro en* A, *con abertura de compás igual a l, se corta en* D *dicha perpendicular.*

4) *Haciendo centro en* B *y en* D, *siempre con la abertura de compás igual a l, se trazan dos arcos de circunferencia que se cortan en* C, *determinando así el último vértice del cuadrado.*

5) *Uniendo* A, B, C, D, *se obtiene un cuadrado que resuelve el problema.*

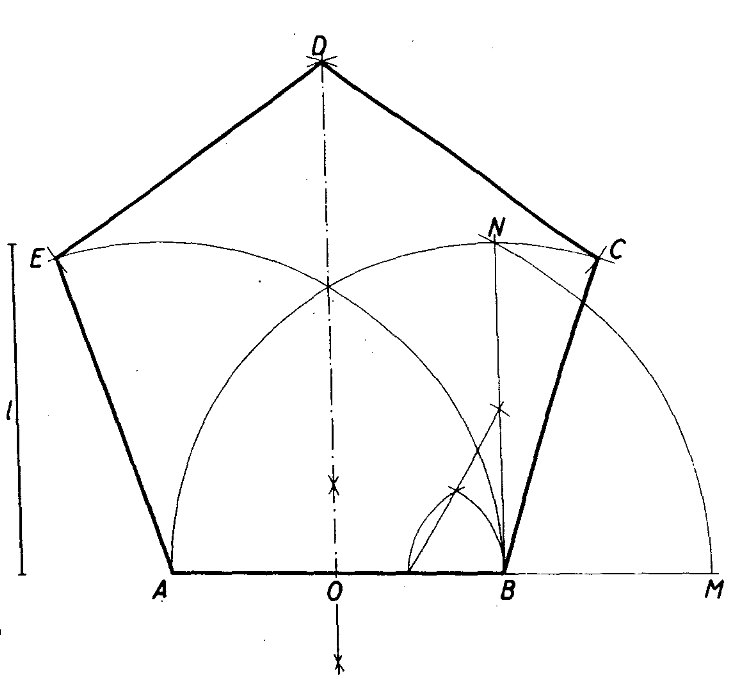


Fig. I, 102. **Problema n.º 25.** Construir un pentágono regular, dado el lado **l**.

1) *Se traza el lado* AB *igual a l, y se prolonga desde* B. *Se traza el eje de* AB *(construcción n.º 4) dibujándose con trazo y punto.*

2) *Haciendo centro en* A *y en* B, *con radio l, se trazan dos arcos, algo mayores que 1/4 de circunferencia.*

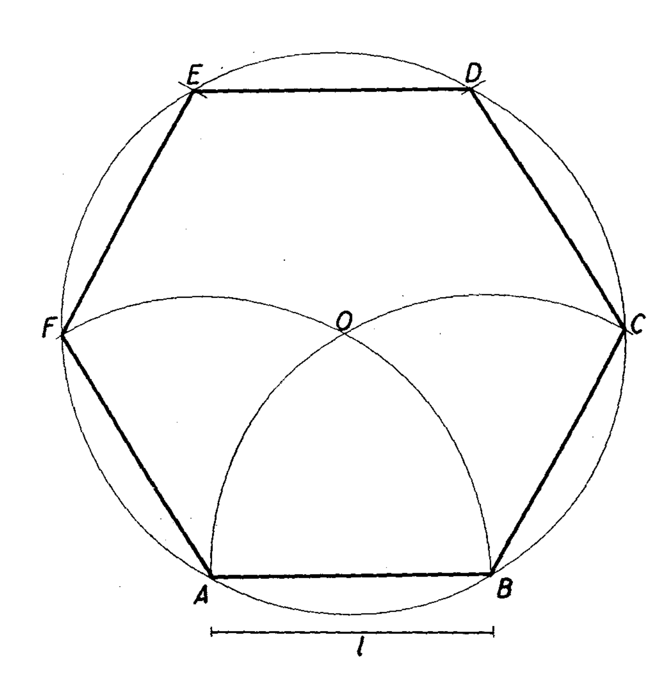
3) *Por el extremo* B *se levanta una perpendicular, que cortará en* N *el arco de centro* B *trazado anteriormente.*

4) *Con centro en* O *y radio* ON, *se traza el arco que corta en* M *la prolongación de* AB.

5) *Haciendo centro respectivamente en* A *y en* B, *con radio* AM, *se trazan dos arcos que se cortarán en* D, *vértice superior del pentágono.*

6) *Finalmente, haciendo centro en* D, *con radio igual a l, se cortan en* C *y* E *los arcos con centros* B *y* A *trazados en el n.º 2.*

7) *Uniendo* A, B, C, D, E, *se obtiene el pentágono pedido.*



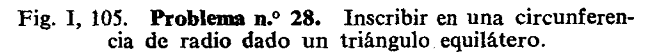


Fig. I, 103. **Problema n.º 26.** Construir un hexágono, dado el lado **l**.

La construcción se basa en la propiedad de que el lado del hexágono es igual al radio de la circunferencia circunscrita.

1) *Se traza un lado* AB *igual a l.*

2) *Haciendo centro en* A *y* B, *se describen dos arcos, que se cortan en* O, *centro de la circunferencia circunscrita.*

3) *Trazando la circunferencia circunscrita, se obtienen otros dos vértices* C *y* F *del hexágono, en la intersección de los arcos antes trazados con la circunferencia.*

4) *Haciendo centro respectivamente en* C *y* F, *siempre con radio igual a l, se corta la circunferencia en los puntos* E *y* D, *últimos vértices buscados del hexágono.*

5) *Uniendo* A, B, C, D, E, F, *se resuelve el problema.*

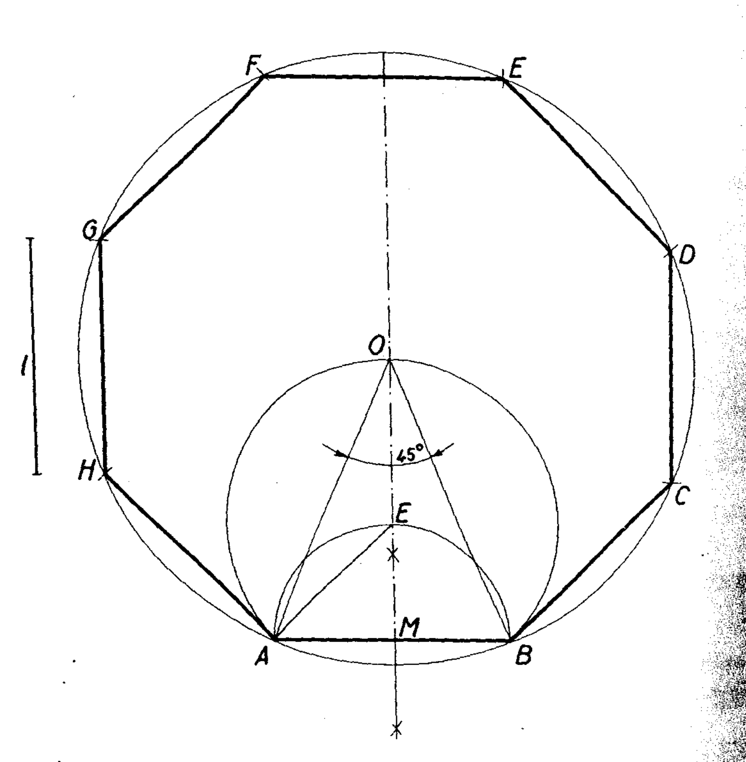


Fig. I, 104. **Problema n.º 27.** Construir un octágono regular, dado el lado **l**.

1) *Se traza un segmento* AB, *igual a l, y se le traza el eje, determinando el punto medio* M *de* AB *(construcción número 4).*

2) *Con centro en* M *y radio* MA, *se traza media circunferencia, que corta en* E *el eje de* AB.

3) *Haciendo centro en* E, *se describe una circunferencia de radio* EA, *que corta el eje de* AB *en el punto* O, *centro de la circunferencia circunscrita al octágono.*

4) *Transportando sucesivamente a partir de* A *el lado l, siete veces, se determinan sobre la circunferencia los vértices* H, G, F, E, D, C, *uniendo los cuales se resuelve el problema.*

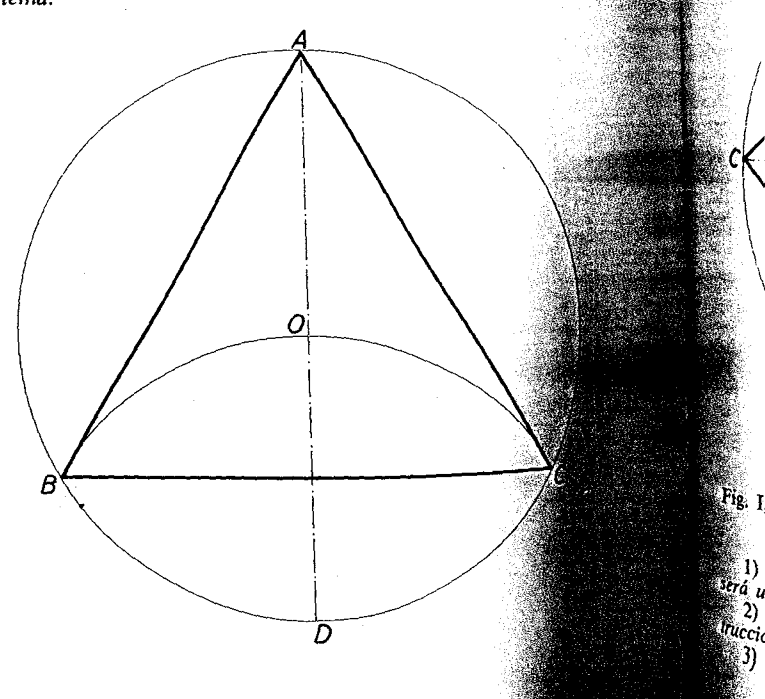


Fig. I, 105. **Problema n.º 28.** Inscribir en una circunferencia de radio dado un triángulo equilátero.

1) *Se traza un eje (p. ej., vertical) de la circunferencia. Sean* A *y* D *las intersecciones de este eje con la circunferencia.*

2) *Con centro en* D *y radio igual al de la circunferencia, se traza un arco que determinará sobre la circunferencia los dos puntos* B *y* C.

3) *Uniendo* A, B, C, *se obtiene el triángulo pedido.*

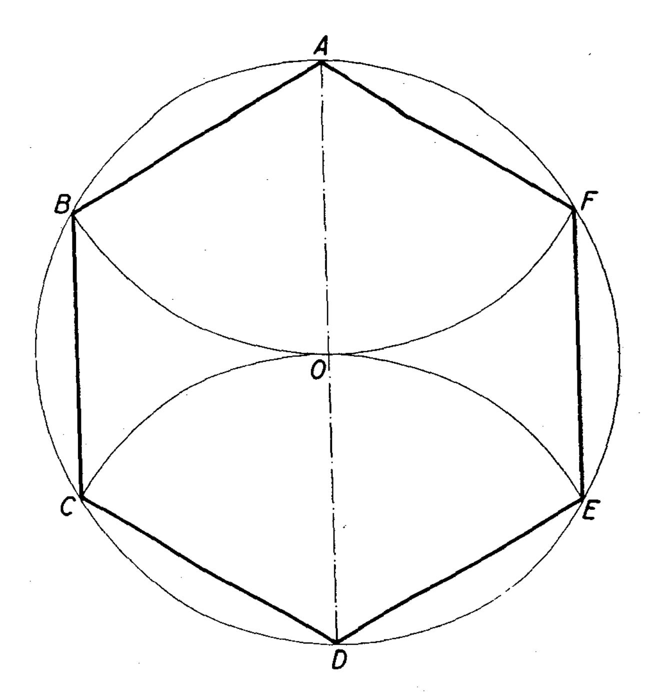


Fig. I, 106. **Problema n.º 29.** Inscribir en una circunferencia un hexágono regular.

1) *Se traza un eje, por ejemplo, vertical, de la circunferencia; sean* A *y* D *sus intersecciones con la circunferencia dada.*
2) *Haciendo centro en* A *y en* D, *con radio igual al de la circunferencia dada, se corta esta última en* B, F, C, E.
3) *Uniendo* A, B, C, D, E, F, A, *se obtiene el hexágono pedido.*

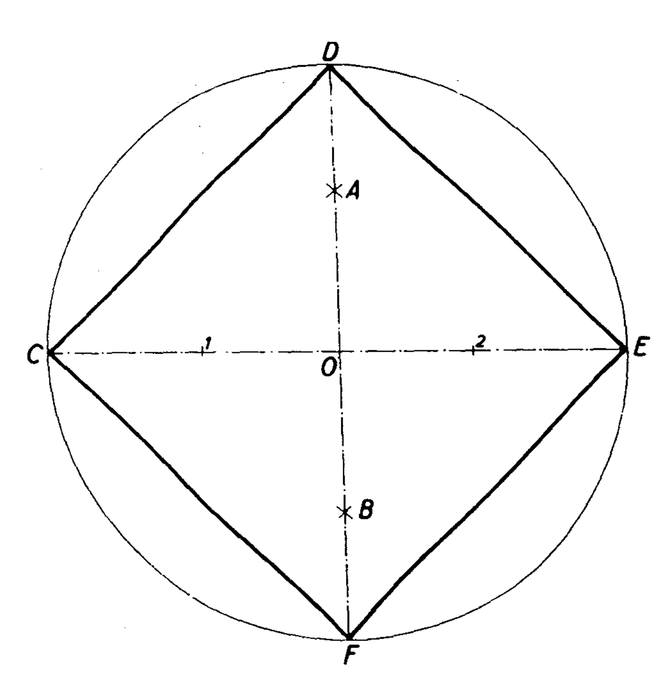


Fig. I, 107. **Problema n.º 30.** Inscribir en una circunferencia un cuadrado.

1) *Se traza un diámetro* CE *de la circunferencia, que será una diagonal del cuadrado.*
2) *Se traza el diámetro* DF, *perpendicular a* CE *(construcción n.º 4).*
3) *Uniendo* C, D, E, F, C, *se tiene el cuadrado pedido.*

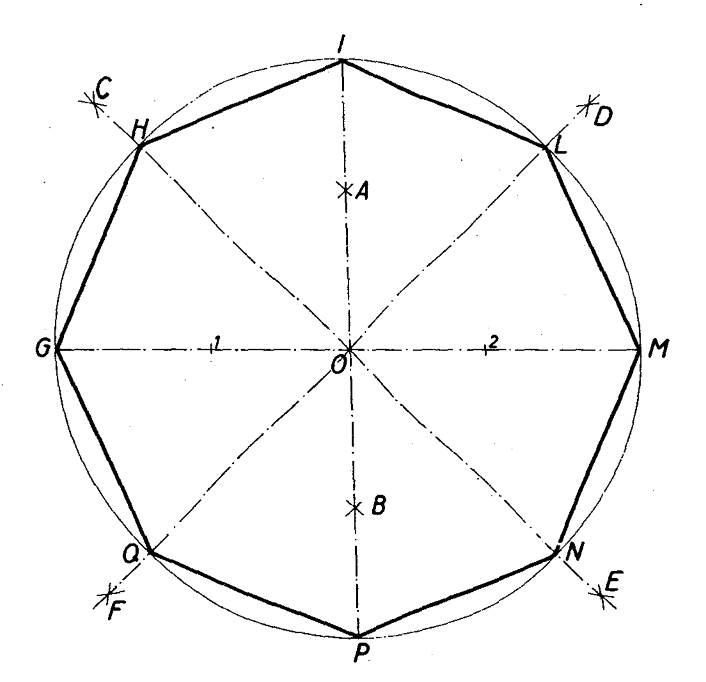
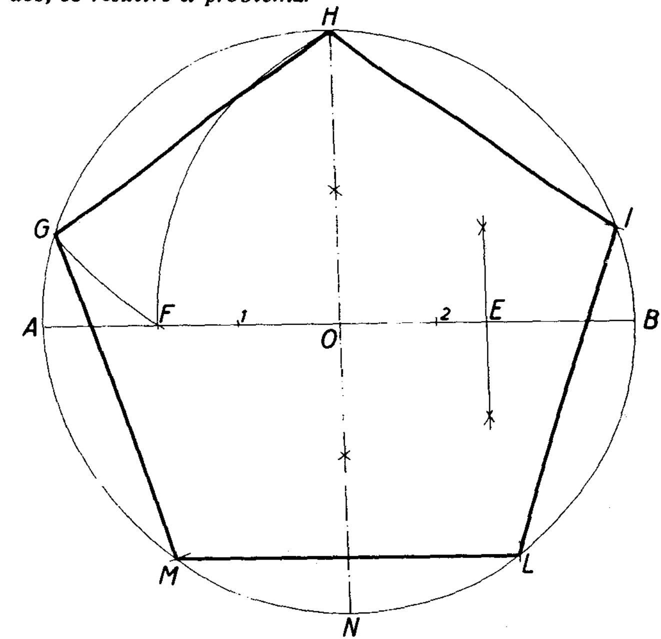


Fig. I, 108. **Problema n.º 31.** Inscribir en una circunferencia un octágono regular.

1) *Se trazan dos diámetros perpendiculares, como en la construcción anterior; quedando así determinados sobre la circunferencia 4 vértices del octágono.*
2) *Se trazan luego las bisectrices de los ángulos rectos formados por los diámetros antes trazados (construcción número 6), con lo que se determinan sobre la circunferencia los otros 4 vértices del octágono.*
3) *Uniendo consecutivamente los vértices así determinados, se resuelve el problema.*



a)

Fig. I, 109 *a*, *b*. **Problema n.º 32.** Inscribir en una circunferencia un pentágono regular.

a) Primera construcción (fig. I, 109 *a*):
1) *Se trazan dos diámetros perpendiculares* AB *y* HN *(construcción n.º 30).*

2) *Se determina el punto medio* E *del radio* OB *(construcción n.° 4).*
3) *Haciendo centro en* E, *con radio* EH, *se traza el arco* HF.
4) *Con centro en* H *y radio* HF, *se traza el arco* FG. *La cuerda* HG *de la circunferencia es el lado del pentágono pedido.*
5) *Transportando con el compás dicho lado, 4 veces consecutivas, se determinan los otros vértices del pentágono.*
b) Segunda construcción (fig. 109 *b*):
1) *Se trazan dos diámetros perpendiculares* AB, HE.
2) *Se determina el punto medio* C *de* OB *y se traza una circunferencia con centro en* C *y radio mitad del de la circunferencia dada; esta segunda circunferencia resultará tangente interna a la dada, pasando por su centro.*
3) *Uniendo* C *con* E *se cortará a la circunferencia menor en el punto* D.
4) *Haciendo centro en* E, *con radio* ED, *se traza el arco* FDL, *que determina sobre la circunferencia dada dos vértices consecutivos* F *y* L *del pentágono pedido.*
5) *Transportando sucesivamente con el compás la cuerda* FL, *se determinan los otros vértices del pentágono.*
N. B. Si se quieren determinar los vértices del decágono inscrito, bastará trazar las bisectrices de los ángulos céntricos correspondientes a los lados del pentágono.

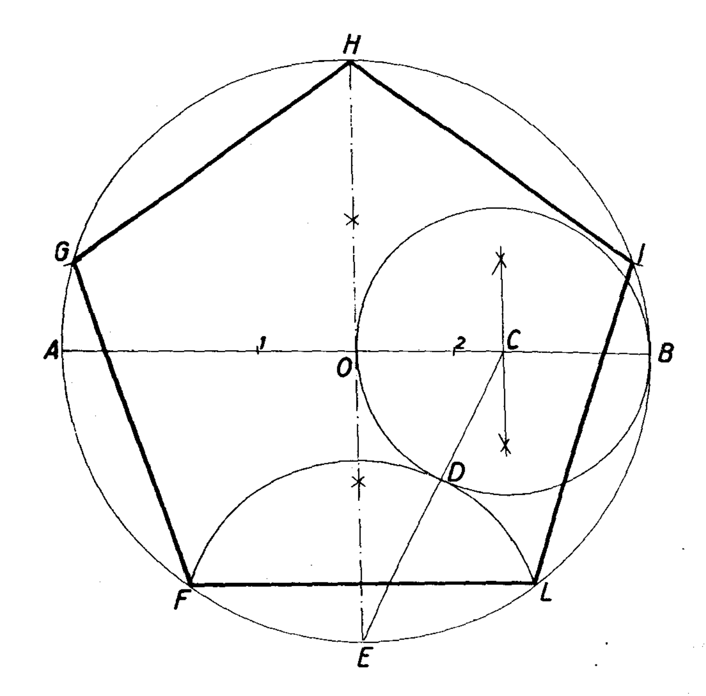


Fig. I, 109 *b*.

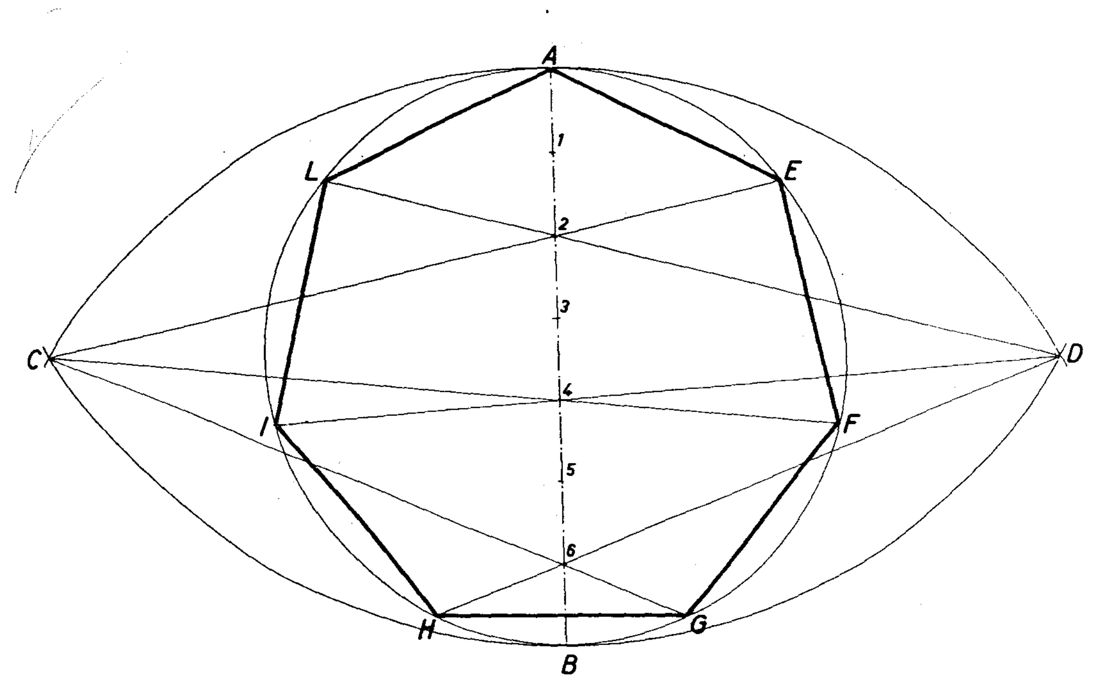


Fig. I, 110 *a*.

Fig. I, 110 *a, b*. **Problema n.° 33.** Inscribir en una circunferencia un polígono regular de **n** lados.

a) Caso de que sean impares, *por ejemplo, 7* (figura I, 110 *a*):
1) *Se traza un diámetro* AB *de la circunferencia y se le divide en* n *partes iguales (construcción n.° 5).*
2) *Haciendo centro en* A *y en* B, *con abertura de compás igual al diámetro* AB, *se trazan dos arcos de circunferencia que se cortarán en* C *y* D.
3) *Desde* C *y* D *se trazan las semirrectas que, pasando por los puntos de orden par* (2, 4, 6, *etc.*) *de* AB, *cor[illegible] a la circunferencia en los puntos* D, F, G, L, I, H, *que, jun[illegible] to con el punto* A, *constituyen los vértices del polígono pedido.*
b) Caso de que **n** sea par *(por ejemplo, 10)* (figura I, 110 *b*):
1) *y* 2) *Se opera como en el caso anterior.*
3) *Desde* C *y* D *se trazan las semirrectas que pasan po[illegible] los puntos de división* de orden impar. *Se prosigue del mi[illegible] mo modo antes explicado.*
Estas dos construcciones no son matemáticamente exac[illegible] tas, pero suficientes en la práctica.

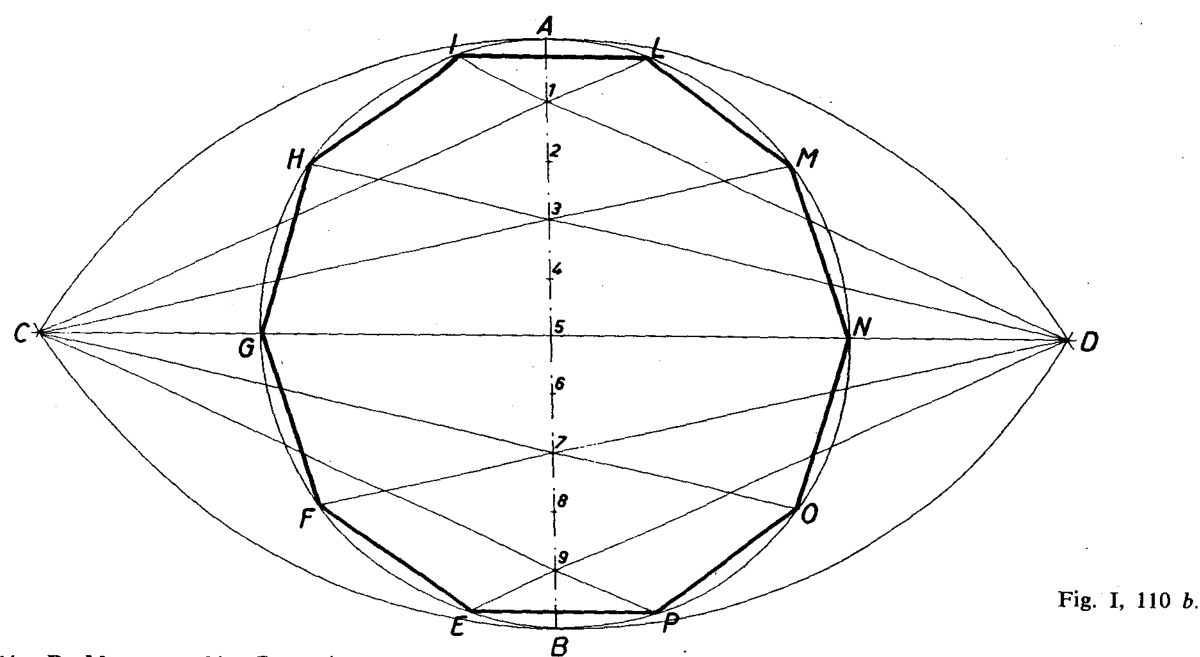


Fig. I, 110 *b*.

Fig. I, 111. **Problema n.º 34.** Construir un óvalo, dado su eje menor.

1) *Se traza el eje del segmento* AB *(con trazo y punto) y se determina su punto medio* O; *con centro en el mismo, se transporta la longitud* OB *a* OE *y* OF.

2) *Uniendo* E *y* F *con* A *y con* B, *se prolongan estas semirrectas más allá de* E *y de* F.

3) *Con centro en* B *y radio* BA *se describe el arco* 1A3; *y con centro en* A *y el mismo radio, el arco* 2B4.

4) *Con centro en* E *y* F *y con radio igual a* E3, *se trazan respectivamente los arcos* 3C4 *y* 1D2, *que completan el óvalo pedido.*

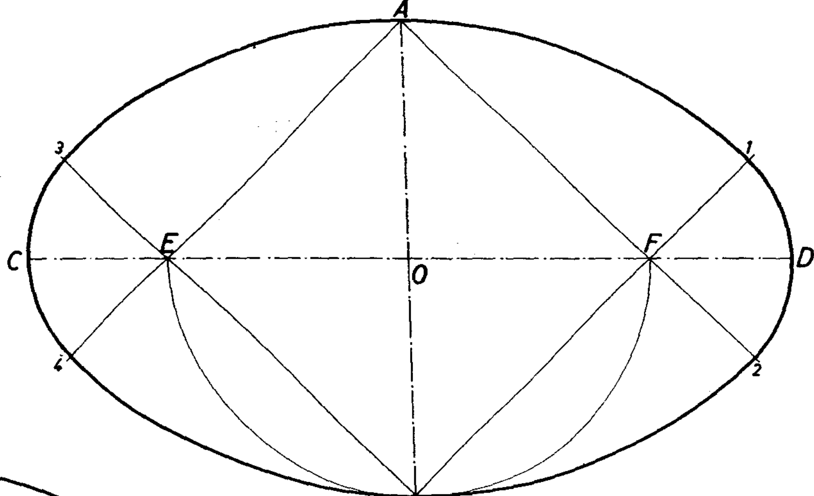


Fig. I, 112 *a*. **Problema n.º 35.** Construir un óvalo, dado su eje mayor.

1) *Se traza el eje del segmento* AB *(con trazo y punto), determinándose un punto medio* O.

2) *Se divide* AB *en 4 partes iguales y, haciendo centro en* O_1 *y* O_2, *se describen dos circunferencias de radio igual a* O_1O.

3) *Haciendo centro en* A *y* B *respectivamente, con radio igual a* AO_2, *se trazan los arcos* NO_2M *y* NO_1M.

4) *Se unen* M *y* N *con* O_1 *y* O_2, *prolongando estas semirrectas hasta su intersección con las dos circunferencias trazadas en* 2).

5) *Con centro en* M *y* N, *con radio* M4, *se trazan respectivamente los arcos* 4D3 *y* 1C2.

6) *Con centro en* O_1 *y* O_2, *se trazan los arcos* 4A1 *y* 3B2, *que completan el óvalo pedido.*

Si se pide la construcción de un óvalo, dados los dos ejes, se procede del modo siguiente (fig. 112 *b*):

1) *Se trazan los ejes* AB *y* CD *perpendiculares entre sí y cortándose en* O; *se unen los puntos* B *y* C.

2) *Se toma desde* C *la distancia* CF *igual a la diferencia entre los dos semiejes dados y se determina el punto medio* G *de* FB.

3) *Se levanta por* G *la perpendicular a* FB *y se buscan sus intersecciones con los ejes (o sus prolongaciones) determinando los puntos* H *e* I.

4) *Con centro en* I *se traza el arco* CL, *y con centro en* H *se traza el arco* LB, *quedando dibujado un cuarto del óvalo pedido.*

Las otras tres partes del óvalo se trazan de modo simétrico.

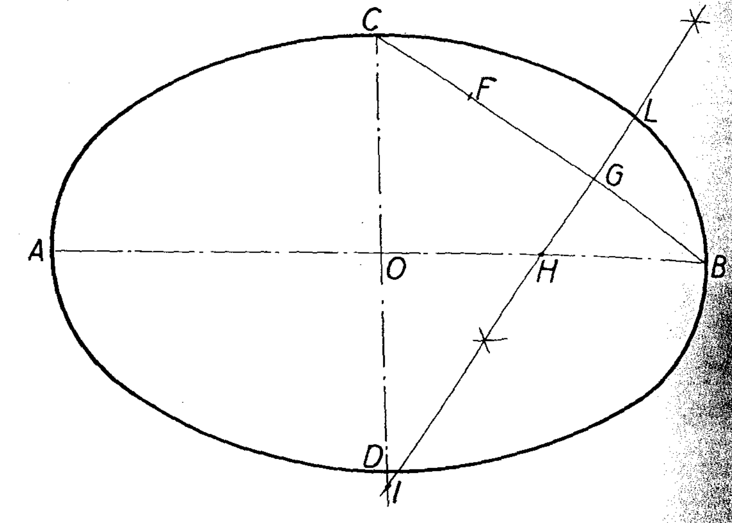


Fig. 112 *b*

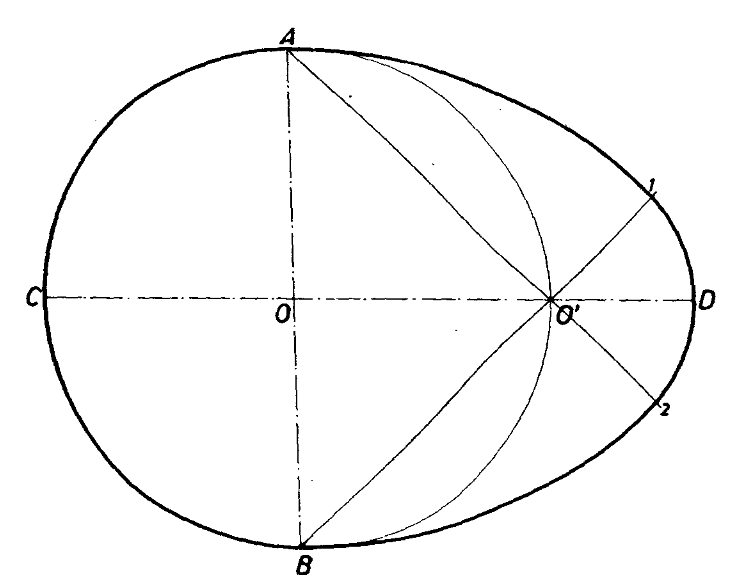


Fig. I, 113 *a*

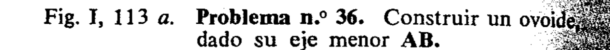


Fig. I, 113 *a*. **Problema n.° 36.** Construir un ovoide, dado su eje menor **AB.**

1) *Se traza el eje del segmento* AB *y se determina su punto medio.*

2) *Se traza una circunferencia de diámetro* AB, *determinando el punto* O'; *la semicircunferencia* ACB *nos dará la mitad del ovoide.*

3) *Se trazan las semirrectas* AO' *y* BO' *prolongadas.*

4) *Haciendo centro en* A *y en* B, *con radio* AB *se trazan respectivamente los arcos* B2 *y* A1.

5) *Haciendo centro en* O', *con radio* O'1, *se traza el arco* 1D2 *que completa el ovoide pedido.*

Si fuesen dados los dos ejes, se efectuaría la construcción que indica la fig. 113 *b.*:

1) *Descrita la circunferencia cuyo diámetro es el eje menor, y trazados los dos ejes perpendiculares, convenientemente prolongados, se toma* CD *igual al eje mayor, siendo* AB *el eje menor.*

2) *Se une* A *con* D *con un segmento sobre el que se toma* AF, *igual a la diferencia entre los dos ejes.*

3) *Se traza el eje del segmento* FD, *que cortará en* H *y* G *el eje vertical y la prolongación del horizontal.*

4) *Con centro en* G *se traza el arco* AI, *y con centro en* H *se traza el arco* ID.

La otra mitad del ovoide es simétrica.

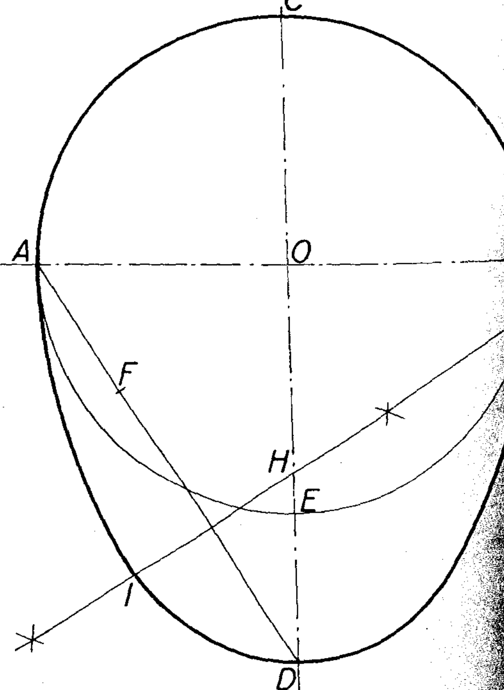


Fig. I, 113 *b*

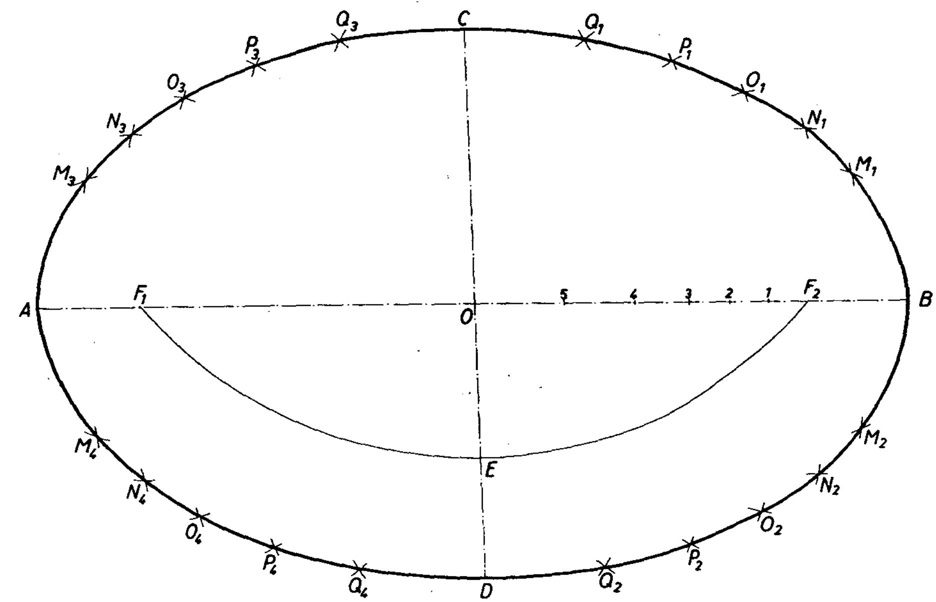
Fig. I, 114. **Problema n.° 37.** Construir una elipse, dados los dos ejes **AB** y **DC**.

1) *Con centro en* C *y radio igual a la mitad del eje mayor, se traza el arco* F_1EF_2, *determinando los dos focos* F_1 *y* F_2.

2) *Escogiendo sobre el eje mayor un punto* 1 *y haciendo centro en* F , *con radio* 1B *se trazan dos arquitos; con centro en* F_1 *y radio* A1 *se trazan otros dos arquitos que corten a los anteriores determinando los puntos* M_1 *y* M_2; *se tienen así dos puntos de la elipse. Al mismo tiempo se pueden determinar los puntos* M_3 *y* M_4, *simétricos de los primeros respecto al eje* CD.

3) *Se repite la construcción cuantas veces se quiera, escogiendo en el eje* OB *los puntos* 2, 3, 4, 5, *etc., a voluntad; cada vez se determinarán 4 puntos de la elipse.*

4) *Uniendo los puntos determinados con una línea continua, valiéndose de una plantilla para curvas, se traza la elipse pedida.*



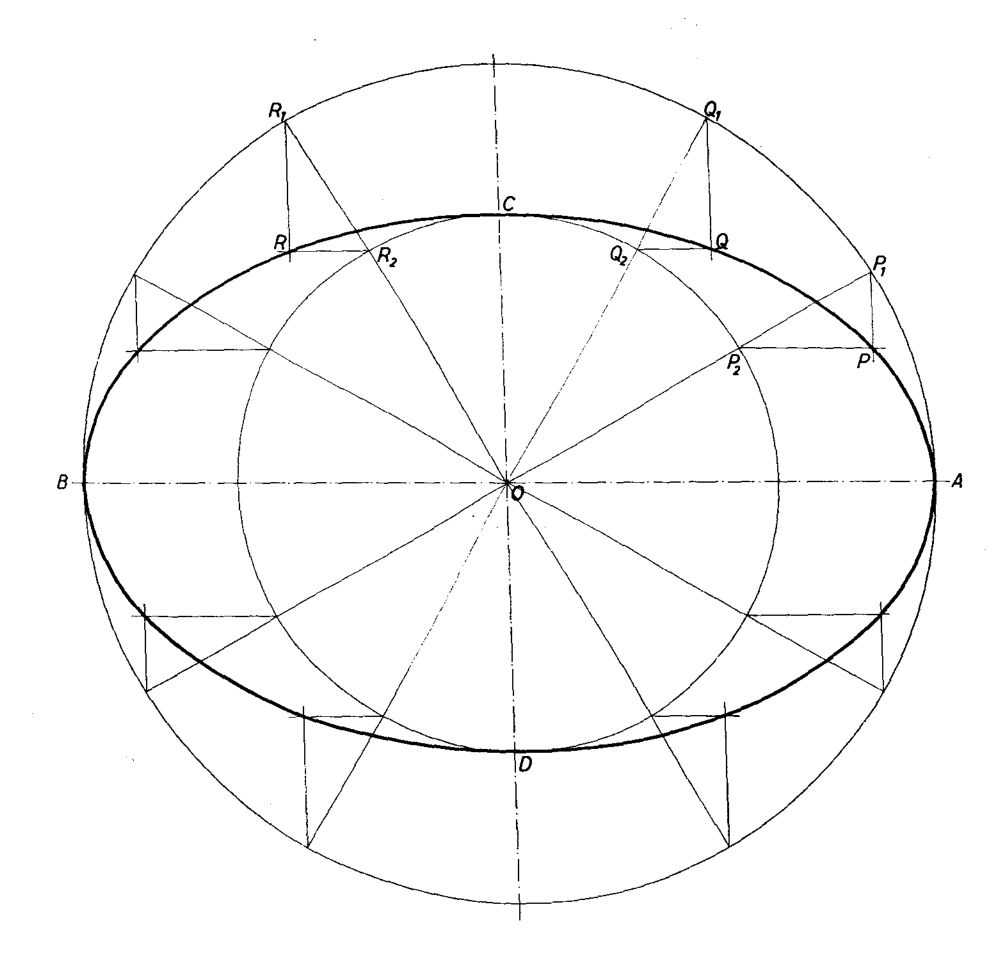


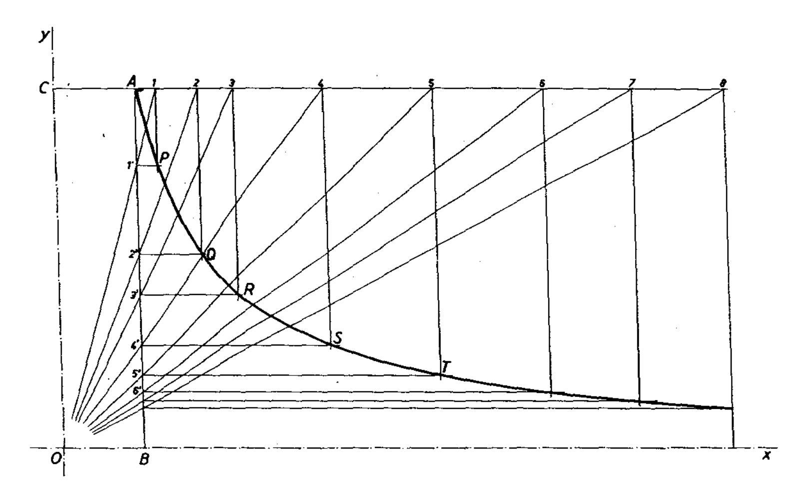
Fig. I, 115. **Problema n.° 38.** Construir una elipse, dados los dos ejes **AB** y **DC** (otra construcción).

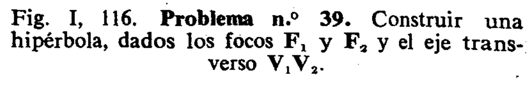
1) *Haciendo centro en* O, *se trazan dos circunferencias cuyos diámetros sean respectivamente el eje mayor y el eje menor de la elipse.*

2) *Se divide una de las circunferencias en un número cualquiera de partes (p. ej., 12), iguales o desiguales, y se trazan los radios correspondientes.*

3) *Por los puntos de intersección de cada radio con la circunferencia menor se trazan paralelas al eje mayor; por los puntos de intersección de cada radio con la circunferencia mayor se trazan paralelas al eje menor. Las intersecciones de cada par de rectas así trazadas son otros tantos puntos de la elipse.*

4) *Uniendo los puntos así determinados con una línea continua, sirviéndose de una plantilla para curvas, se traza la elipse pedida.*




Fig. I, 116. **Problema n.° 39.** Construir una hipérbola, dados los focos F_1 y F_2 y el eje transverso V_1V_2.

1) *Se traza una circunferencia de centro* O *y diámetro* F_1F_2.

2) *Trazadas por* V_1 *y* V_2 *las perpendiculares a* F_1F_2, *se determinan los puntos* A, B, C, D *sobre la circunferencia trazada anteriormente; uniendo* A *con* B *y* C *con* D *se determina el eje no transverso* MN.

3) *Se marcan sobre el eje* xx, *desde uno de los dos focos, varios puntos arbitrarios* 1, 2, 3, *etcétera; haciendo centro en* F_2 *con radio* V_21, *se trazan dos arcos uno encima y otro debajo del eje; haciendo centro en* F_1, *con radio* V_11, *se trazan otros dos arcos que cortarán a los ya trazados en* P_1, P_2; *análogamente, con los mismos radios e invirtiendo los centros, se obtienen los puntos* P_3, P_4.

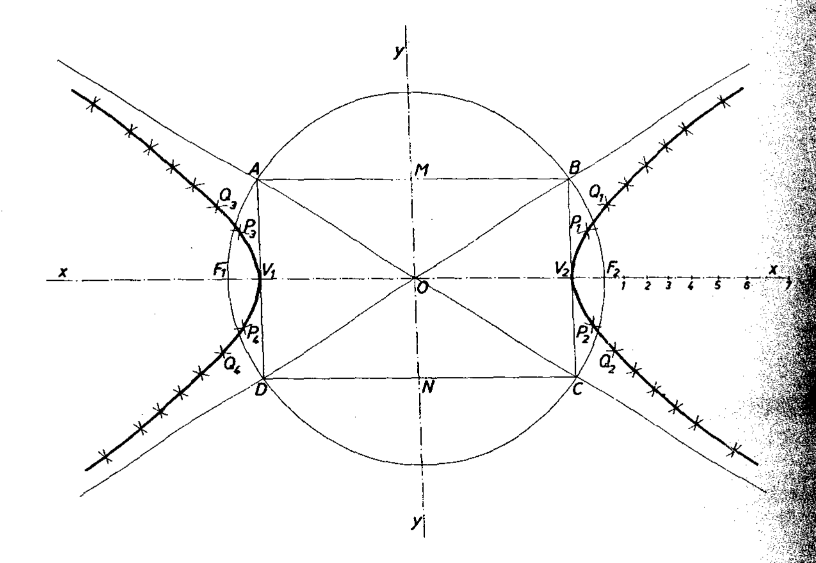
4) *Cada construcción nos da, pues, 4 puntos de la hipérbola, los cuales uniremos después con una línea continua, por medio de la plantilla para curvas, obteniendo la hipérbola pedida.*

Fig. I, 117. **Problema n.° 40.** Construir una rama de hipérbola equilátera, dadas las asíntotas **Ox** y **Oy** y un punto **A**.

1) *Se trazan desde* A *las perpendiculares* AB *y* AC *a las asíntotas.*

2) *Tomando sobre la prolongación de* AC *un número arbitrario de puntos,* 1, 2, 3, 4, *etc., se unen estos puntos con* O.

3) *Por los puntos de intersección* 1′, 2′, 3′, *etc., de estas rectas con la perpendicular* AB, *se trazan segmentos paralelos a la asíntota* Ox; *por los puntos* 1, 2, 3, *etc., se trazan paralelas a la asíntota* Oy. *Los puntos de intersección* P, Q, R, S, *etc., de cada par de segmentos son otros tantos puntos de la hipérbola pedida, que se podrá trazar uniendo estos puntos mediante una línea continua, valiéndose de una plantilla para curvas.*



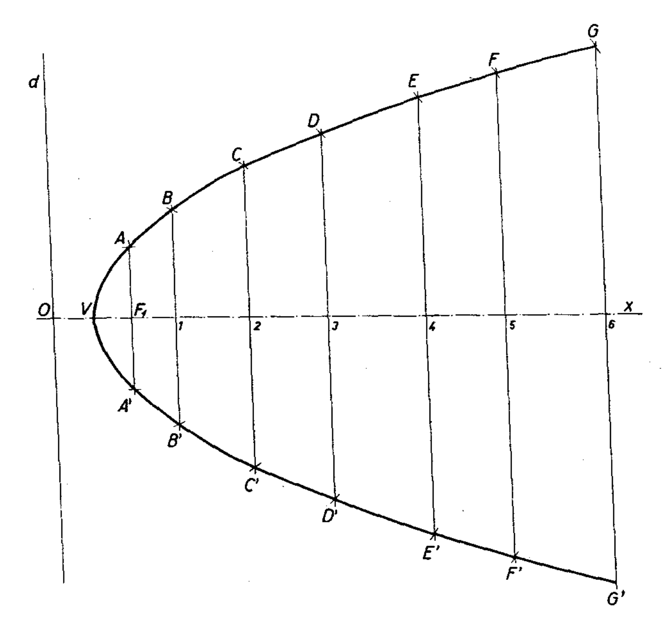


Fig. I, 118. **Problema n.° 41.** Construir una parábola, dado el foco y la directriz.

1) *Trazada la directriz* d, *por* F_1 *se le traza la perpendicular, que será el eje* Ox, *y se determina el vértice de la parábola en el punto medio del segmento* OF_1. *A partir del foco, se señalan sobre el eje varios puntos arbitrarios,* 1, 2, 3, *etcétera, por los que se levantan las perpendiculares a* Ox *que serán paralelas a la directriz.*

2) *Con centro en* F_1 *y radio* OF_1 *se trazan dos arcos que cortan en* A *y* A′ *la perpendicular de* F_1; A *y* A′ *son puntos de la parábola.*

3) *Haciendo otra vez centro en* F_1, *con radio* O1, *se trazan dos arcos que cortarán en otros dos puntos de la parábola,* B, B′, *a la perpendicular de* 1. *Se continúan determinando, de modo análogo, otros puntos de la parábola así determinados.*

4) *Uniendo con una línea continua los puntos así determinados, se obtiene la parábola pedida.*

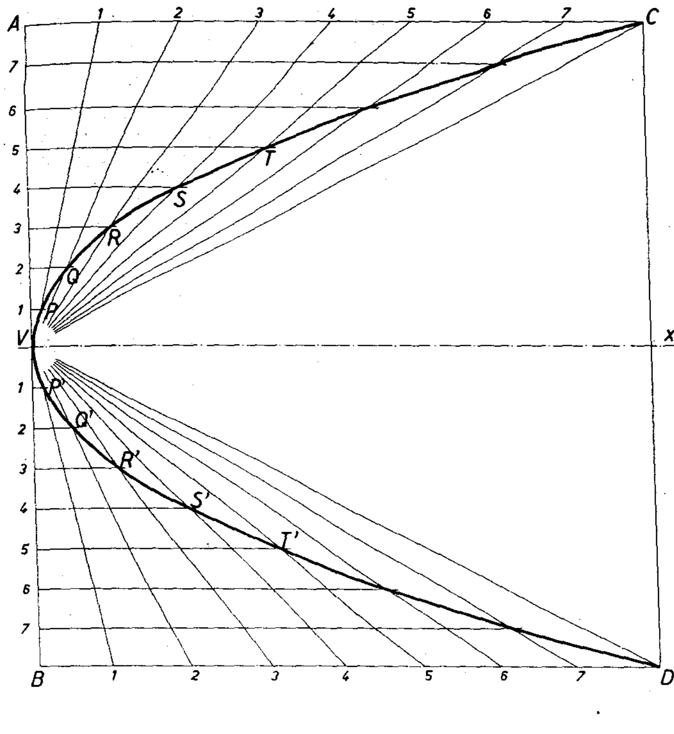


Fig. I, 119. **Problema n.º 42.** Trazar una parábola, dados el vértice **V**, el eje **Vx** y un punto **C**.

1) *Se busca el punto* D, *simétrico del* C *respecto al eje. Por* V *se levanta la perpendicular al eje y por* C *y* D *se trazan las paralelas al eje* Vx, AC *y* BD.

2) *Se dividen* DB *y* AC *en un número cualquiera de partes iguales (por ejemplo, 8); se dividen igualmente* VA *y* VB *en el mismo número de partes iguales.*

3) *Por cada punto de división de* VA *y* VB *se traza una paralela al eje; se unen luego con el vértice los puntos de división de* AC *y* BD. *Los puntos de intersección* PP′, QQ′ RR′, *etc., de los segmentos* V1, V2, *etc., con la correspondiente paralela al eje, son puntos de la parábola.*

4) *Uniendo los puntos así determinados con una línea continua y empleando la plantilla para curvas, se obtiene la parábola pedida.*

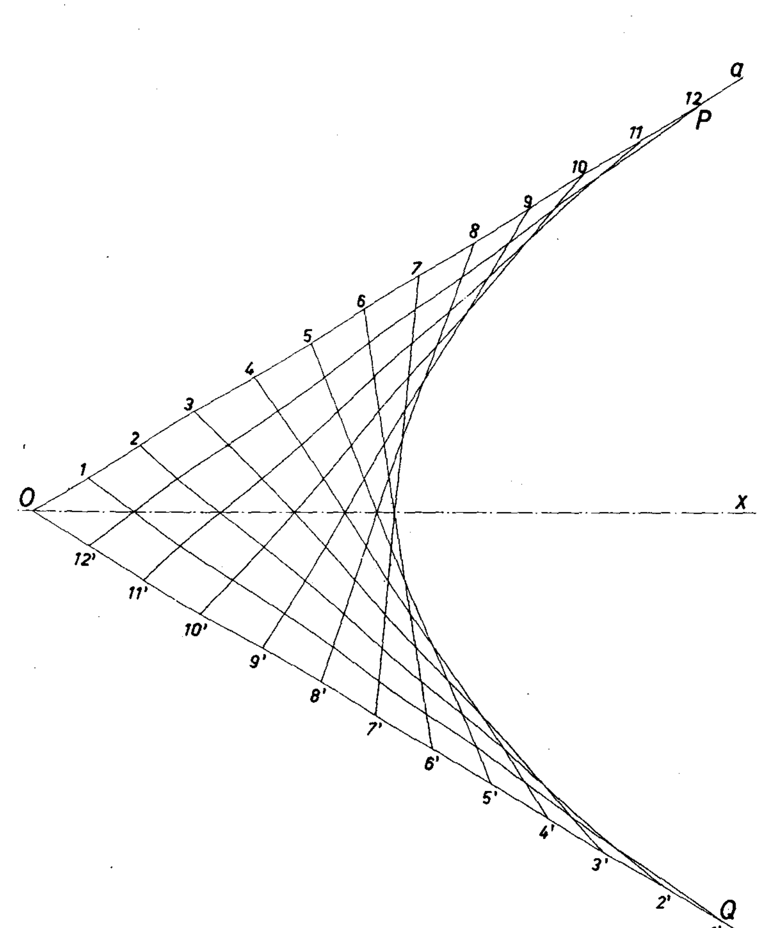


Fig. I, 120 *a*.

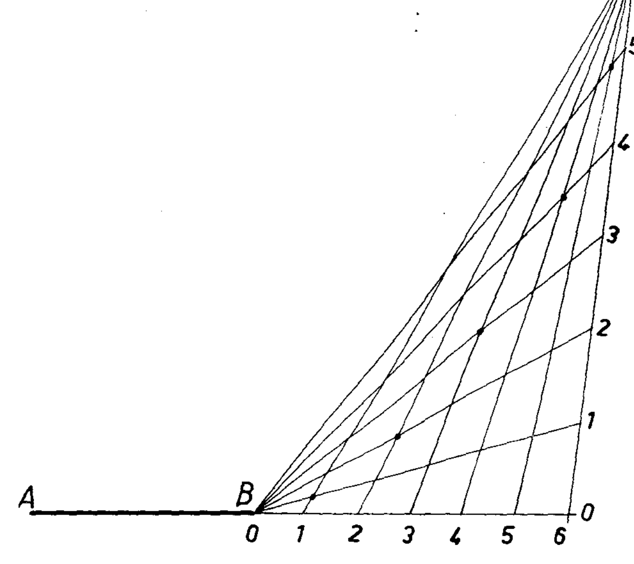


Fig. I, 120 *b*.

Fig. I, 120 *a*. **Problema n.º 43.** Dibujar la envolvente de una parábola dados el eje **Ox**, una tangente **a** y su punto de contacto **P** con la misma.

1) *Se traza la tangente* **b**, *simétrica de* **a** *respecto al eje, en la que se señala el punto* Q *de contacto, simétrico de* **P**.

2) *Se dividen* OP *y* OQ *en el mismo número de partes iguales, por ejemplo, 12, que se numeran en sentido contrario.*

3) *Uniendo los números correspondientes* 1-1′, 2-2′, 3-3′, *etc., se obtiene la envolvente pedida.*

Con una construcción muy semejante, se dibujan enlaces parabólicos (véase n.º 18), muy usados en las aplicaciones mecánicas. La figura 120 *b*, tan sencilla que no necesita explicación, indica la construcción de un enlace parabólico entre dos segmentos *AB* y *CD*.

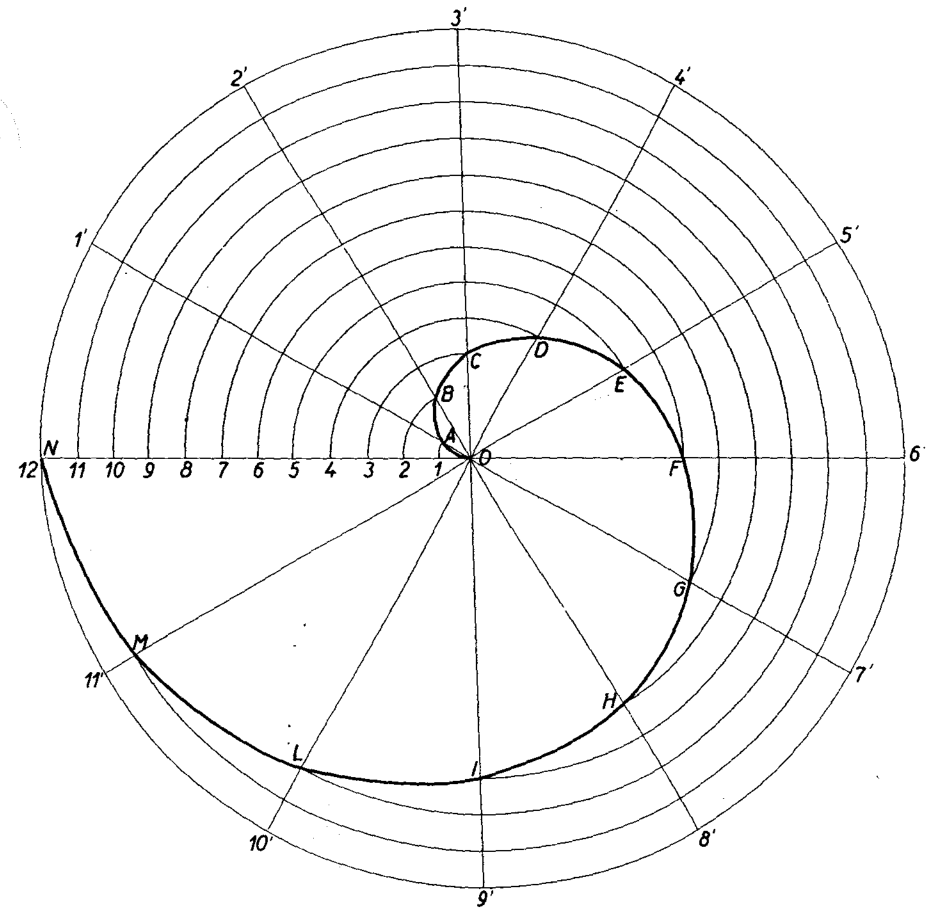


Fig. I, 121. **Problema n.º 44.** Construir una espiral de Arquímedes, dado el paso **ON**.

1) *Se traza una circunferencia de radio* ON *y se dividen circunferencia y paso en el mismo número de partes iguales (por ejemplo, 12).*

2) *Con centro en* O *y radio* O1, *se traza un arco* 1A, *determinando un primer punto* A *de la espiral sobre el radio* O1'.

3) *De modo análogo se procede para los puntos* 2, 3, 4, *etc., determinando otros tantos puntos* B, C, D, E *de la espiral.*

4) *Con ayuda de una plantilla para curvas se unen con una línea continua los puntos de la espiral así determinados.*

Fig. I, 122. **Problema n.º 45.** Construir una espiral, dado el paso (construcción aproximada con sólo dos centros).

1) *Se traza la recta* a, *en la que se marca el paso* OB *y se determina su punto medio* O_1.

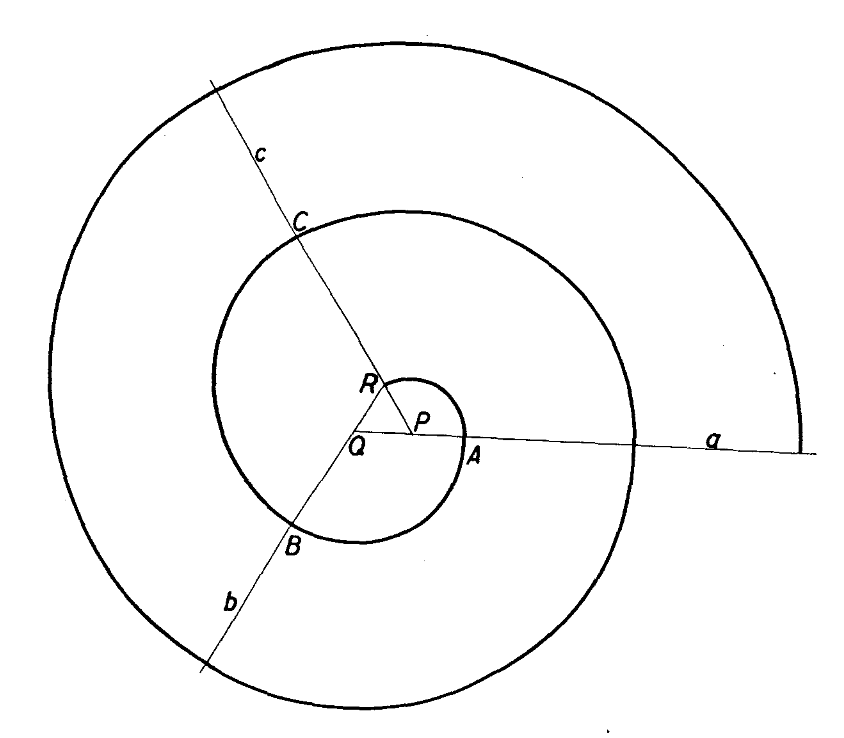
2) *Haciendo centro en* O_1, *con radio* O_1B, *se traza una semicircunferencia* AB.

3) *Haciendo centro en* O, *con radio* OB, *se traza una semicircunferencia* BC, *que enlace con la anterior.*

4) *Haciendo centro en* O_1, *con radio* O_1C, *se traza una nueva semicircunferencia, y así sucesivamente.*

Fig. I, 123. **Problema n.º 46.** Construir una espiral, dado el paso (construcción aproximada de 3 centros, llamada **del triángulo**).

1) *Se dibuja un triángulo equilátero* PQR, *cuyos lados sean iguales a 1/3 del paso; se prolongan sus lados dando las semirrectas* a, b, c.
2) *Con centro en* P *y radio* PR, *se traza el arco* RA.
3) *Con centro en* Q *y radio* QA, *se traza el arco* AB.
4) *Con centro en* R *y radio* RB, *se traza el arco* BC.
5) *Se prosigue del mismo modo, haciendo centro sucesivamente en* P, Q, R *y aumentando correlativamente los radios, hasta haber dibujado el número de espiras deseado.*



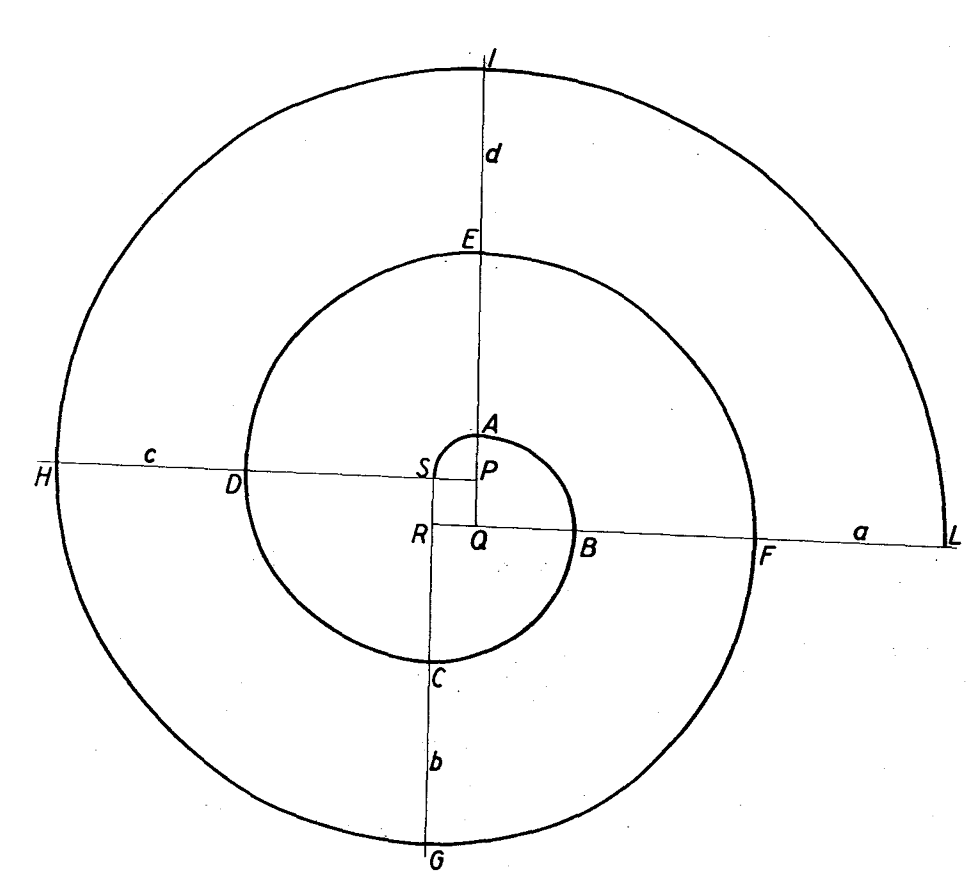


Fig. I, 124. **Problema n.º 47.** Construir una espiral, dado el paso (construcción aproximada de 4 centros, llamada **del cuadrado**).

1) *Se dibuja un cuadrado* PQRS, *de lado igual a un cuarto del paso dado, prolongando los lados en las semirrectas* a, b, c, d.
2) *Se continúa la construcción de modo análogo al indicado para el problema anterior.*

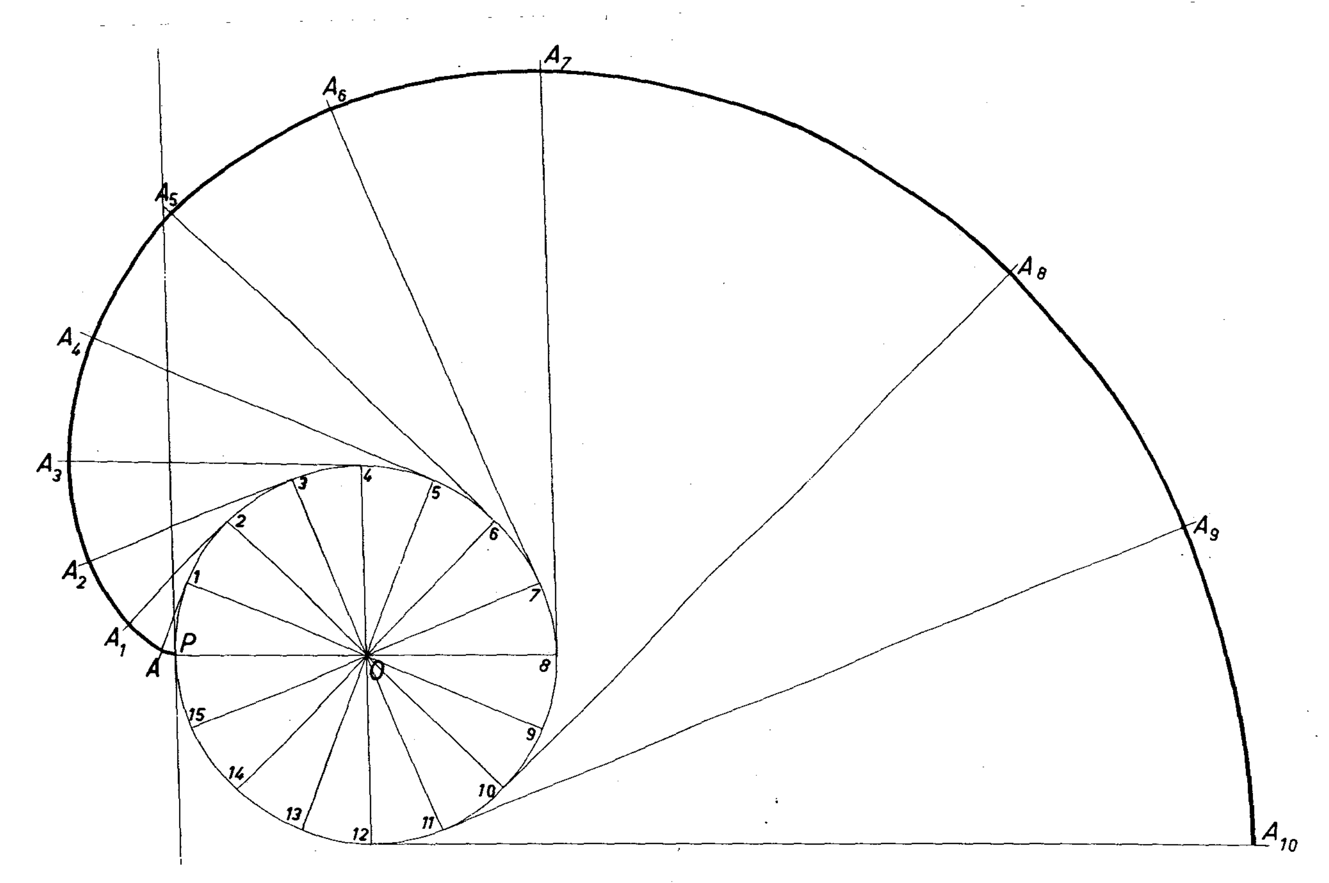


Fig. I, 125. **Problema n.º 48.** Dibujar la envolvente de un círculo.

1) *Se divide la circunferencia dada en un número cualquiera de partes iguales (por ejemplo, 16) y se trazan los radios correspondientes a cada división.*

2) *Por los puntos de división* 1, 2, 3, 4, *etc., de la circunferencia se le trazan las tangentes.*

3) *Haciendo centro en* 1, *con radio igual a la longitud del arco* 1P, *se traza el arco* PA.

4) *Haciendo centro en* 2, *con radio igual a la longitud del arco* 2A, *se traza el arco* AA_1.

5) *Análogamente se trazan los arcos* A_1A_2, A_2A_3, A_3A_4, *etcétera, con lo que se obtiene la evolvente pedida.*

De modo análogo se traza el desarrollo de un arco de cualquier curva.

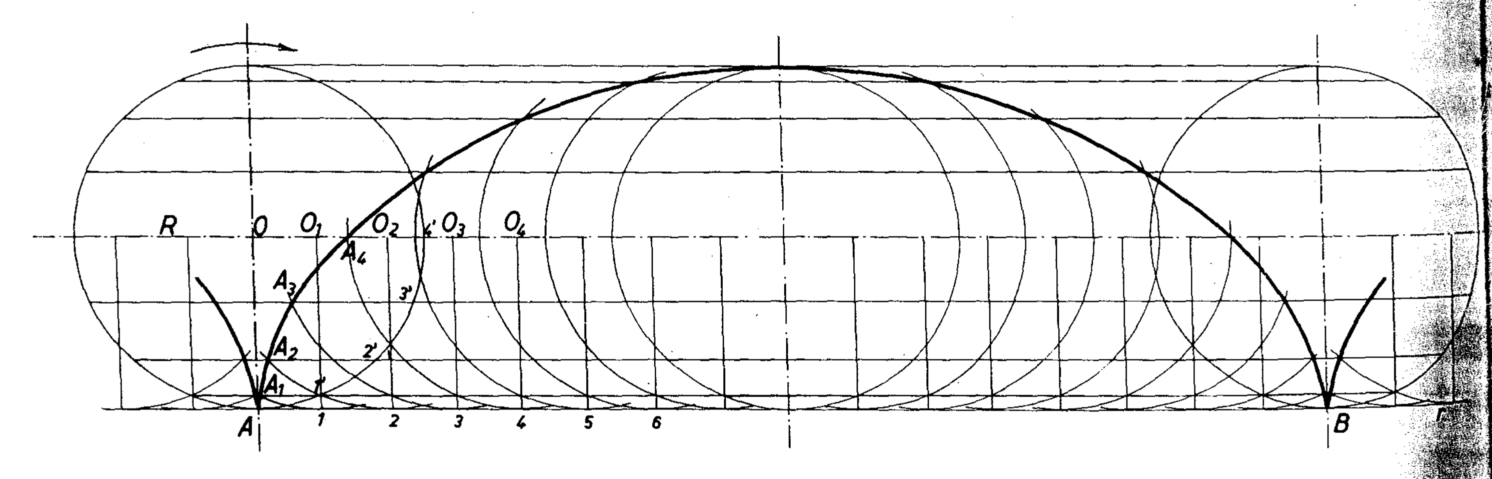


Fig. I, 126. **Problema n.º 49.** Dibujar una cicloide. Se recuerda que la **cicloide** es la curva geométrica descrita por un punto dado de una circunferencia, al rodar, sin resbalar, sobre una recta.

1) *Se dibujan la circunferencia generatriz de radio* R *y la recta* r *en la posición indicada en la figura, y se divide la circunferencia en un número cualquiera de partes iguales, por ejemplo, 16; por los puntos de división* 1', 2', 3', 4', ***etc.***, *se trazan las paralelas a* r.

2) *Se dibuja el desarrollo* AB *de la circunferencia, en el que se señalan los puntos de división* 1, 2, 3, 4, *etc.*

3) *Imagínese que la circunferencia rueda (sin resbalamiento) sobre la recta* r. *Cuando el punto de división* 1' *se superponga al* 1, *el punto* A *se habrá trasladado a* A_1, primer punto de la cicloide. *Éste se determina haciendo centro en* O_1 *y trazando un arco de circunferencia de radio* R *hasta cortar la horizontal del punto* 1'.

4) *Cuando el punto* 2' *de la circunferencia se confunda con* 2, *el punto* A *se habrá trasladado a* A_2, *otro punto de la cicloide. Para determinarlo, se procede de modo análogo haciendo centro en* O_2 *y trazando el arco* $2A_2$, *hasta su intersección con la horizontal de* 2'.

5) *Análogamente se van determinando los otros puntos de la cicloide, que se puede dibujar fácilmente con ayuda de la plantilla para curvas.*

Fig. I, 127. **Problema n.º 50.** Dibujar una epi- y una hipocicloide.

La epicicloide y la hipocicloide son las curvas descritas por un punto de una circunferencia, cuando ésta rueda sobre otra circunferencia, sea por el exterior o el interior de la misma.

Se repite la construcción precedente, con la única diferencia de que la rodadura de la circunferencia se realiza sobre una circunferencia (por el exterior o el interior) en vez de hacerlo sobre una recta; y por lo tanto, en lugar de trazar las rectas paralelas a la recta r, *se dibujan las circunferencias concéntricas con aquella sobre la que se efectúa el rodamiento. El resto de la construcción es idéntico.*

18. Generalidades sobre enlaces y construcciones relativas a los mismos

Cuando se han de unir dos o más segmentos de curvas uno con otro, para formar una curva única, o bien dos segmentos rectilíneos se han de juntar mediante un trazo curvo, se dice que se realiza **un enlace.**

Para que un enlace sea perfecto es necesario *que se verifique la continuidad de la curva en el punto de enlace* (fig. I, 128), es decir, que se evite un cambio brusco de dirección (fig. I, 129).

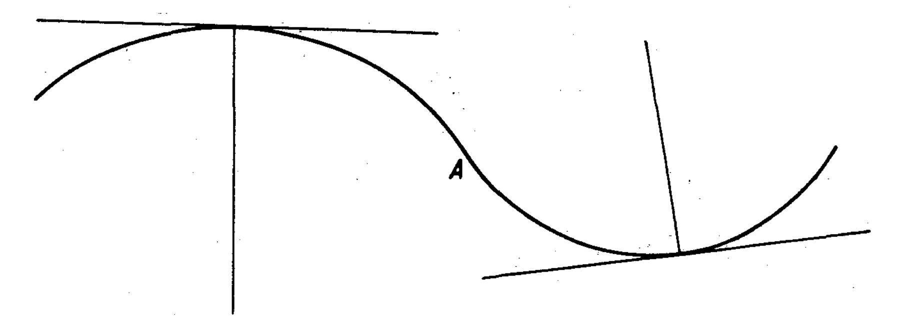


Fig. I, 128. *Cuando se hayan de enlazar entre sí dos o más segmentos de curvas, es preciso que en el punto de enlace, indicado con* A, *se verifique la continuidad de la curva.*

Toda curva, en cada punto tiene su tangente, que puede definirse como una recta que une dos puntos infinitamente próximos de la misma curva: estos dos puntos, prácticamente coincidentes, constituyen *el punto de contacto* entre la tangente y la curva.

Tracemos la *perpendicular a la tangente en el punto de contacto,* por la parte cóncava de la curva. Imaginando que un arco pequeñísimo de la curva correspondiente al punto de contacto se puede sustituir por un arco de circunferencia, el centro de este arco se hallará evidentemente sobre la perpendicular antes trazada, pues, como es sabido, la tangente a una circunferencia y el radio del punto de contacto son perpendiculares entre sí.

El radio del arco de circunferencia que puede sustituir un trazo de la curva se llama **radio de curvatura** *de la curva en el punto considerado.*

Ahora bien, es evidente que:

a) *La circunferencia es la única curva de radio de curvatura constante.*

b) *Todas las otras curvas tienen diferentes radios de curvatura en sus diversos segmentos.*

c) *Hay curvas que tienen todos sus diversos centros de curvatura situados a un mismo lado de la curva* (fig. I, 130), y caracterizados por el hecho de que *ninguna de sus tangentes corta a la curva.* Esto ocurre, por ejemplo, en la elipse y, en general, en las

A

Fig. I, 129. *Si no se verifica la continuidad, es decir, si se observa un brusco cambio de dirección en el punto de enlace, es que éste está mal dibujado.*

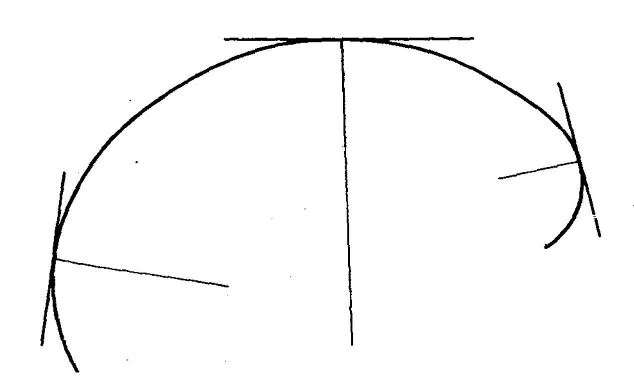


Fig. I, 130. *Toda curva, en cada uno de sus puntos, tiene un* radio de curvatura, *perpendicular a la tangente en dicho punto e igual al radio de la circunferencia que, en un trazo más o menos corto en torno a dicho punto, se confunde con la curva dada. En algunas curvas, el radio de curvatura se halla siempre a un mismo lado de la curva, como en esta figura.*

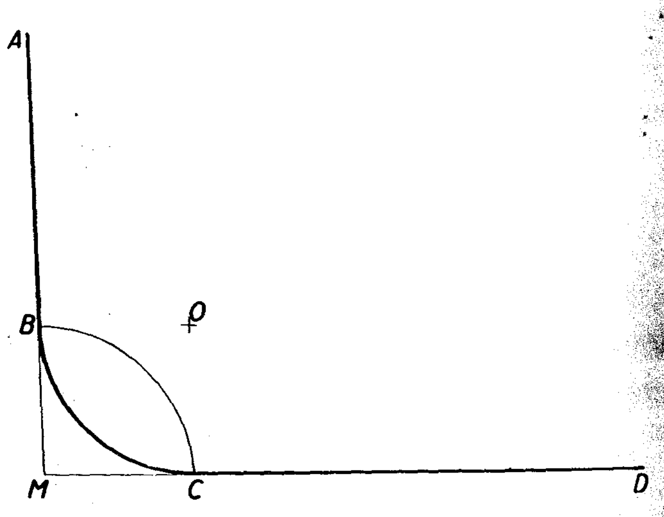


Fig. I, 132. Enlazar dos segmentos **AB** y **CD** en ángulo recto.

Se supone que los dos segmentos son de tal longitud que, prolongados hasta su intersección M, *los segmentos* BM *y* CM *resulten iguales. En caso de no ser así, se prolongará uno de los dos segmentos hasta que se cumpla la condición enunciada. Supuesto esto:*

1) *Se hace centro en* B *y en* C, *con abertura de compás igual a* BM, *y se trazan dos arcos que se cortan en* O.

2) *Con centro en* O *y la misma abertura de compás se dibuja el arco de enlace.*



Fig. I, 131. *En otras curvas, en cambio, el radio de curvatura se halla unas veces a un lado y otras al otro lado de la curva. En el punto en que el radio de curvatura pasa de uno a otro lado de la curva, se observa que la tangente corta la curva, como se puede ver en los puntos* F_1 *y* F_2 *de esta figura. Estos puntos se llaman* puntos de flexión.

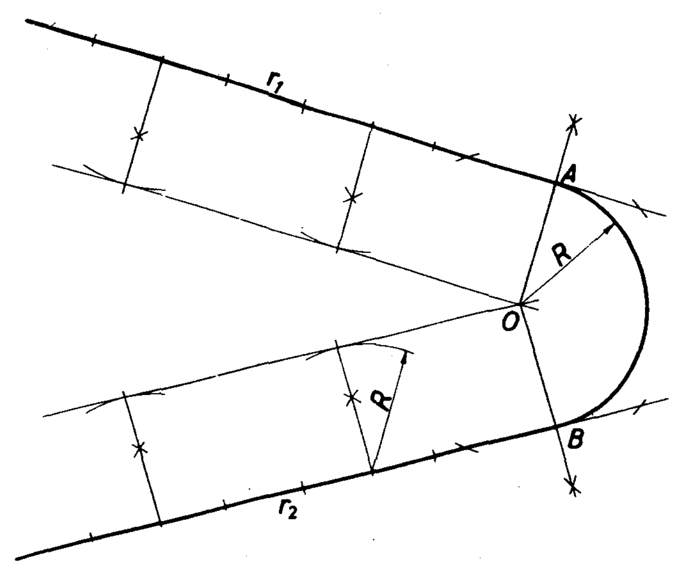


Fig. I, 133. Enlazar dos rectas convergentes **r_1** y **r_2** con un arco de circunferencia de radio dado **R**.

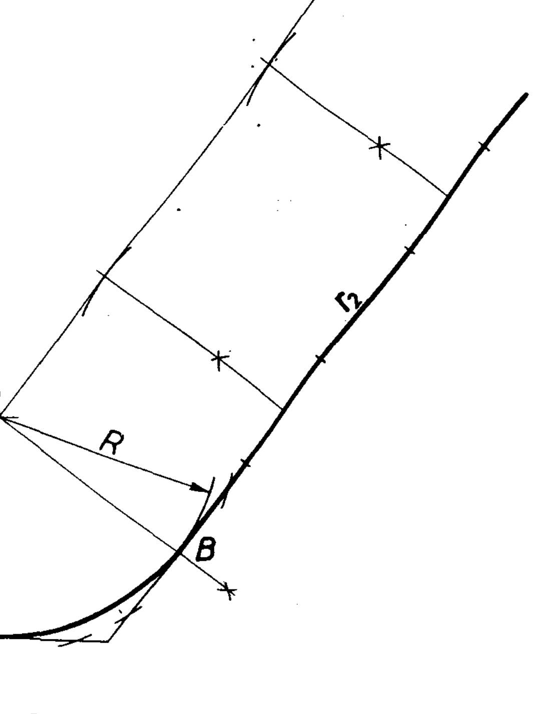
1) *Se trazan dos paralelas a las rectas* r_1 *y* r_2 *a la distancia* R *(problema n.º 13,* fig. I, 89); *estas paralelas se cortan en* O, *centro del empalme.*
2) *Desde* O *se trazan las perpendiculares* OA *y* OB *respectivamente a* r_1 *y* r_2*; se determinan así los puntos* A *y* B *de los que sale el arco de enlace.*
3) *Con centro en* O *y radio* OA *se traza el enlace pedido.*
El enlace puede también ser parabólico (véase fig. 120 *b*).

Fig. I, 134. Enlazar dos rectas convergentes, formando entre sí un ángulo obtuso.
La construcción se corresponde perfectamente con la precedente.

curvas convexas. *Pero hay otra clase de curvas en las cuales el centro de curvatura se halla tan pronto a un lado como a otro de la curva.* Las curvas de este tipo se caracterizan por el hecho *de que sus tangentes pueden cortar la curva* (fig. I, 131). *Siempre que el centro de curvatura pasa de un lado a otro de la curva, se dice que la curva presenta un* **punto de inflexión.**

Por lo anteriormente expuesto, se puede afirmar que, *para que el enlace de dos curvas sea perfecto,* **es preciso que las dos curvas tengan, en el punto de enlace, la misma tangente.**

Sobre tales consideraciones se basan las distintas construcciones geométricas ilustradas en las figuras I, 132-141, aunque con frecuencia, en el dibujo industrial, los enlaces se efectúan generalmente por métodos empíricos.



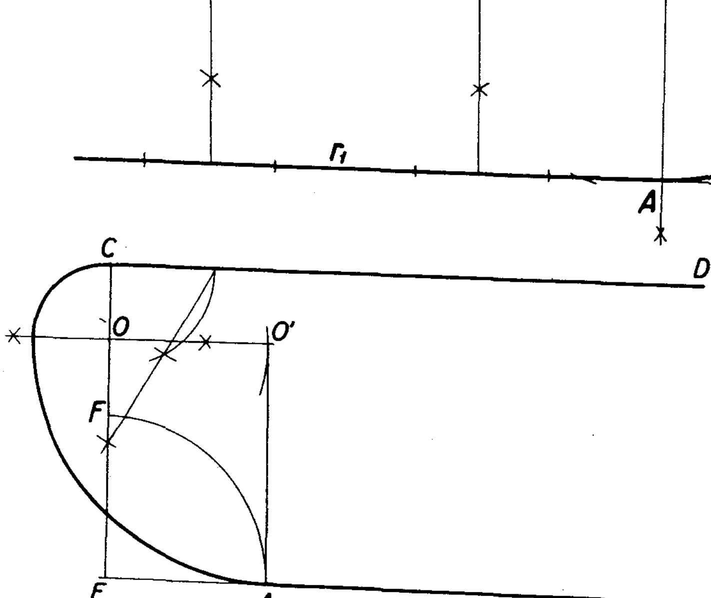


Fig. I, 135. Enlazar los dos segmentos paralelos **AB** y **CD** indicados en la figura.

El enlace se ha de efectuar con dos arcos de circunferencia de diferente radio.
1) *Por el extremo* C *del segmento más alargado hacia la zona del enlace, se traza una perpendicular* CE, *hasta su encuentro con la prolongación de* AB.
2) *Haciendo centro en* E *se transporta* EF = EA.
3) *Se dibuja el eje del segmento* CF *prolongándolo hasta su intersección* O' *con la perpendicular* A *al segmento* AB.
4) *Los centros de los arcos de enlace son respectivamente* O *(radio* OC) *y* O' *(radio* O'A).

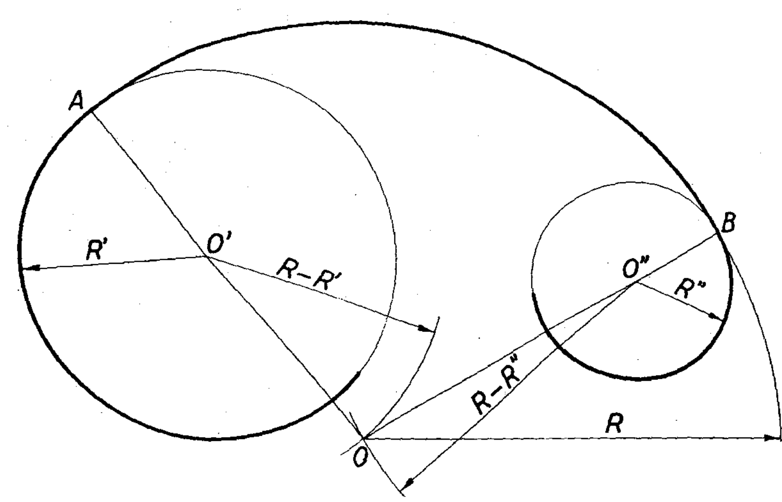


Fig. I, 136. Enlazar dos circunferencias de centros **O'** y **O''** y radios **R'** y **R''** con un arco de radio dado **R.**

1) *Haciendo centro en* O' *se traza un arco de radio R-R'. De igual modo, haciendo centro en* O'', *con radio* R-R'' *se traza un arco que corta el precedente en* O, *centro del enlace.*

2) *Uniendo* O *con* O' *y con* O'' *se determinan, sobre sus prolongaciones, los puntos* A *y* B *que delimitan el enlace.*

3) *Con centro en* O *y radio* R *se dibuja el enlace pedido.*

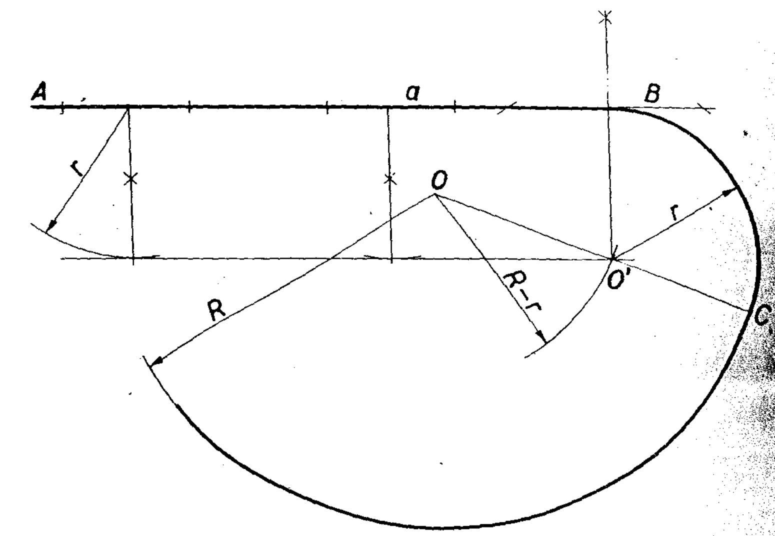


Fig. I, 137. Enlazar una recta **a** con un arco de circunferencia de radio **R**, mediante un arco de circunferencia de radio dado **r**.

1) *Se traza una paralela a la recta* **a** *a la distancia* r *(problema n.º 13,* fig. I, 89).

2) *Con centro en* O *y radio* R-r *se traza un arco hasta cortar en* O' *a la paralela antes trazada.* O' *es el centro del enlace.*

3) *Con centro en* O' *y radio* r *se traza el enlace* BC.

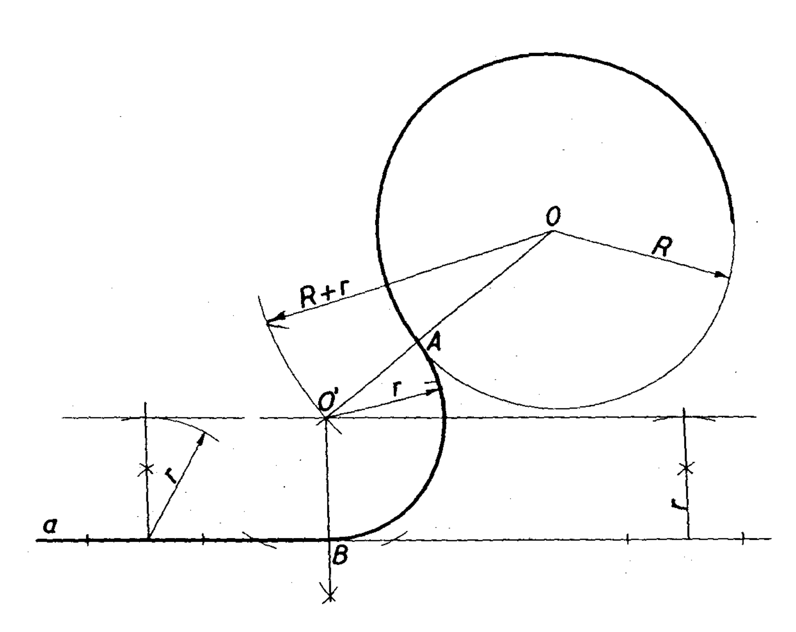


Fig. I, 138. Enlazar una recta **a** con una circu[illegible] ferencia de centro **O** y radio **R**, con un arco d[illegible] radio r.

1) *Se traza una paralela a* a, *a la distanci*[illegible]

2) *Con centro en* O, *se traza un arco de* [illegible] *dio* R + r, *hasta su intersección* O' *con la* [illegible] *ralela trazada anteriormente.*

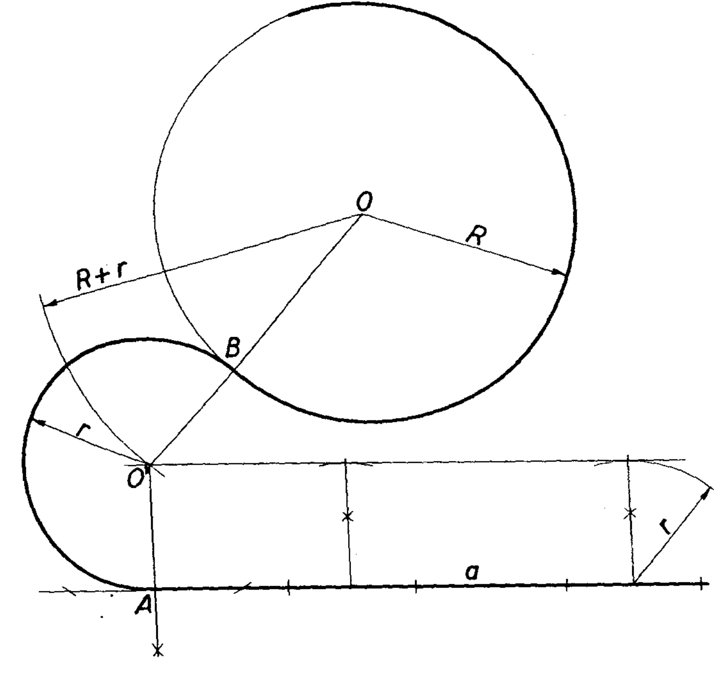
3) *Haciendo centro en* O' *se traza el* [illegible] *de enlace* AB *de radio* r.

Fig. I, 139. Enlazar una recta **a** y una circunferencia de centro **O** y radio **R**, en la posición indicada en la figura, mediante un arco de radio dado **r**.

1) *Se traza una paralela a* a, *a la distancia* r (*construcción n.° 13,* fig. I, 89).

2) *Con centro en* O, *se traza un arco de radio* R + r, *hasta su intersección* O′ *con la paralela trazada anteriormente.*

3) *Haciendo centro en* O′, *con radio* r, *se traza el enlace pedido* AB.



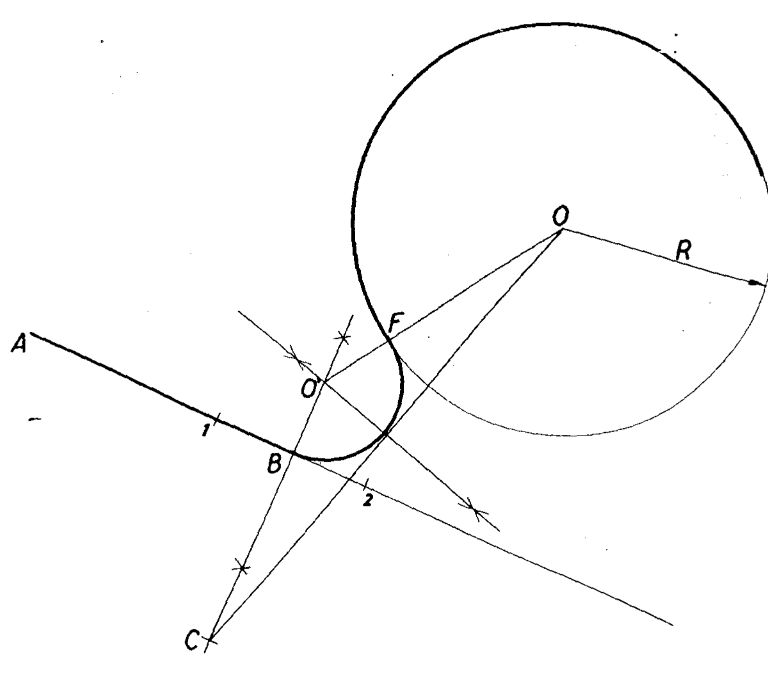


Fig. I, 140. Enlazar una circunferencia de centro **O** y radio **R** con un segmento **AB** en el punto **B**.

1) *Por* B *se traza la perpendicular a* AB *y sobre ella se toma* BC = R.

2) *Se une* C *con* O *y se dibuja el eje de* CO, *que cortará en* O′ *la prolongación de* BC.

3) *Haciendo centro en* O′ *y con radio* O′B *se traza el arco de enlace* BF *pedido.*

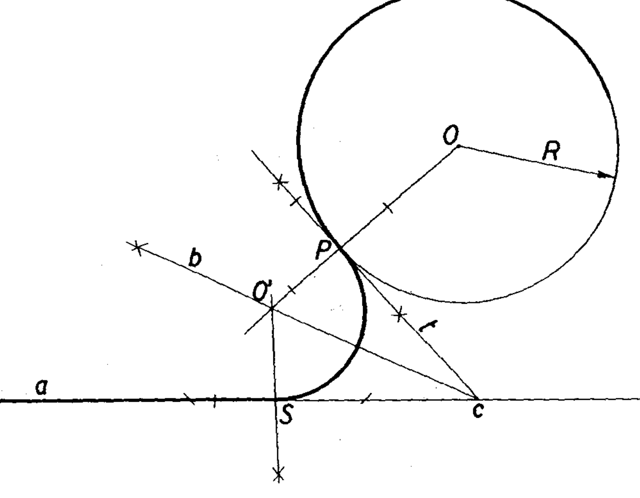


Fig. I, 141. Enlazar en el punto **P** la circunferencia de centro **O** y radio **R** con una recta **a**.

1) *Se traza el radio* OP *y su prolongación a la tangente* t *en* P *a la circunferencia* (*construcción n.° 14,* fig. I, 90), *que cortará en* C *la recta* a.

2) *Se traza la bisetriz* b *del ángulo formado por* a *y* t, *que cortará en* O′ *la prolongación de* OP.

3) *Haciendo centro en* O′ *con radio* O′P *se traza el arco de enlace* PS *pedido.*

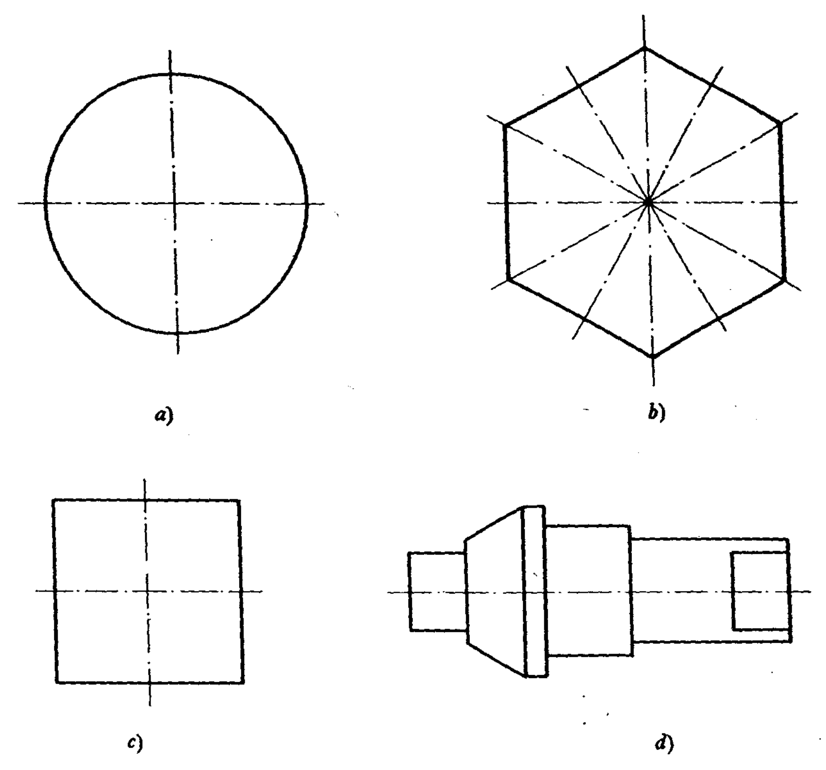


Fig. I, 142. *En los dibujos técnicos, los ejes de simetría se indican siempre con una recta de trazo y punto. Cuando una figura o una pieza mecánica tiene muchos ejes de simetría, pueden indicarse todos* (fig. **b**) *o solamente unos cuantos. Cuando los ejes son infinitos (p. ej., un círculo), se indican generalmente sólo dos formando ángulo recto* (fig. **a**).

19. Ejes de simetría

En las figuras que siguen se representan algunas piezas mecánicas en las que las construcciones de enlaces antes explicadas tienen amplia aplicación. Pero antes de presentar estas figuras conviene tratar de la representación de los *ejes de simetría.* En general *se llama* **eje de una figura plana** *a una recta que divide dicha figura en dos partes* **aparentemente** *iguales.*

Una figura puede tener un solo eje de simetría (fig. I, 142 *d*); o dos ejes (fig. I, 142 *c*); o muchos ejes (fig. I, 142 *b*) o aun infinitos ejes, como ocurre en la circunferencia; en este último caso, se acostumbran representar solamente dos formando un ángulo recto (fig. I, 142 *a*). Muchísimas figuras no tienen, naturalmente, ejes de simetría.

En los dibujos técnicos se ha convenido indicar los ejes por **una recta de trazo y punto,** lo que recordaremos en el momento oportuno (figs. I, 143-146).

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE UN OBJETO

20. Generalidades

El primer problema que se presenta al dibujante es el de *aprender a representar un objeto sólido, es decir, un cuerpo de* **tres dimensiones,** *sobre una hoja de papel, que por ser plana, tiene* **solamente dos dimensiones.**

Los métodos de representación deben reunir las siguientes condiciones:

a) *Representar el objeto con toda claridad, en cuanto sea posible: en la representación se han de poder anotar todos los datos indispensables para la construcción del objeto representado; estos datos se han de poder deducir de dicha representación con facilidad y sin dar lugar a dudas.*

b) · *Deberán ser, en lo posible, de fácil ejecución e interpretación.*

El método más importante y más extendido de representación es el llamado de las **tres proyecciones.** Vamos, pues, a tratar de este tema, dándole preferentemente un carácter intuitivo.

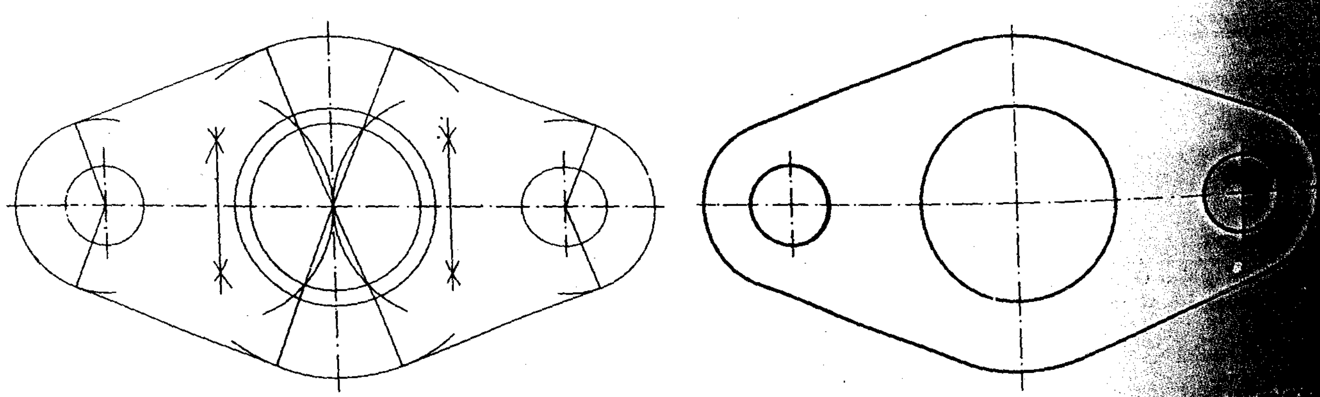


Fig. I, 143. *Dibujo de una pieza simétrica, en el cual se puede ver la aplicación de varias de las construcciones d*[illegible] *estudiadas anteriormente.*

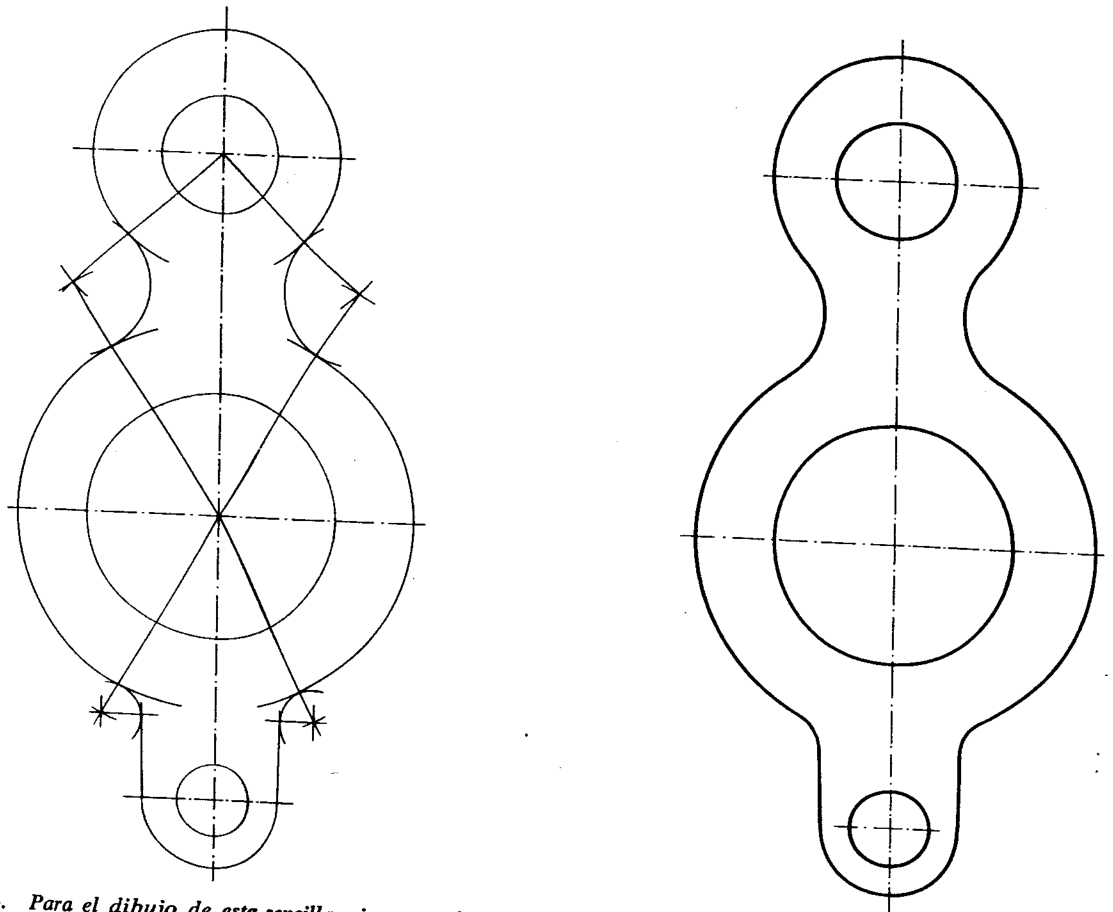


Fig. I, 144. *Para el dibujo de esta sencilla pieza mecánica también es necesaria la aplicación de algunas de las construcciones de enlaces efectuadas anteriormente.*

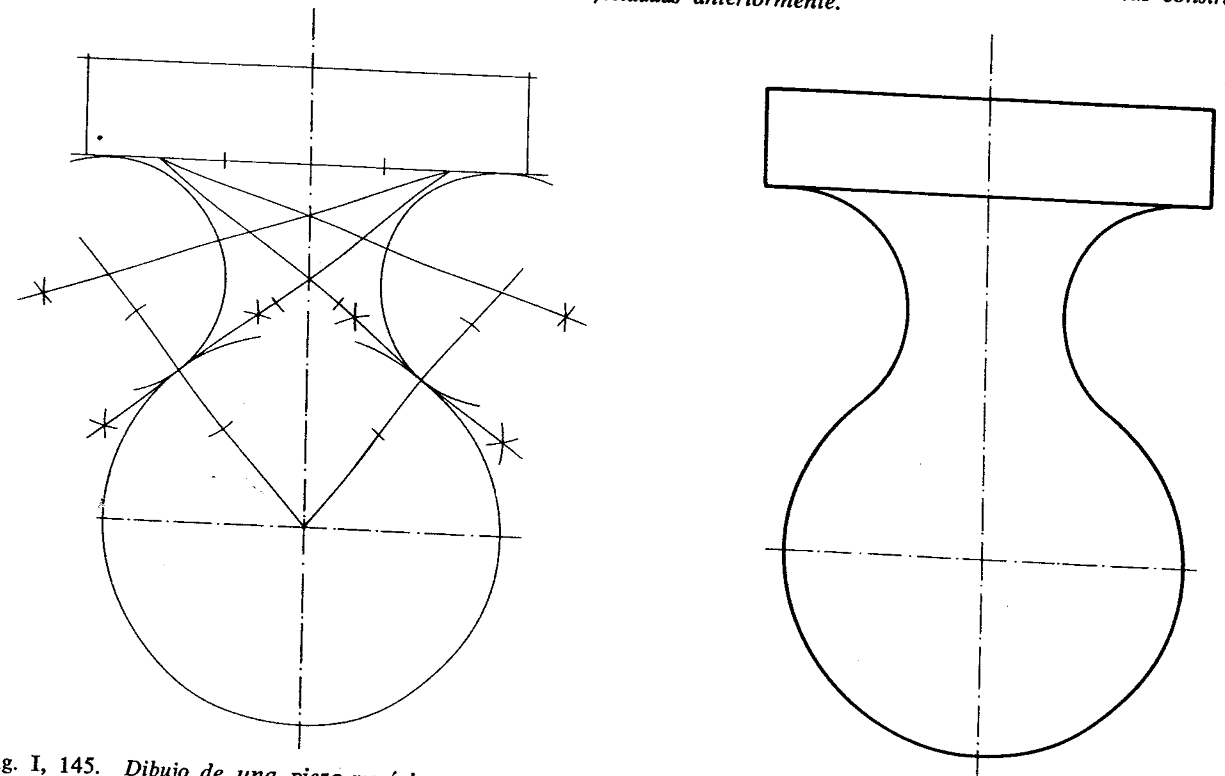
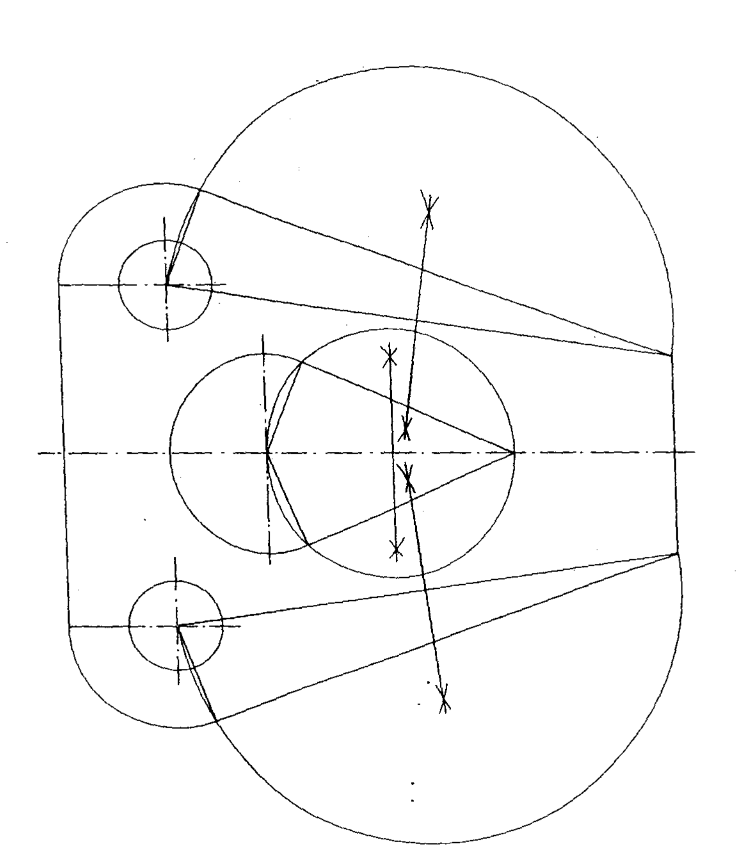


Fig. I, 145. *Dibujo de una pieza mecánica, con aplicación de enlaces. Como se ve, los puntos de flexión se encuentran con mucha frecuencia.*



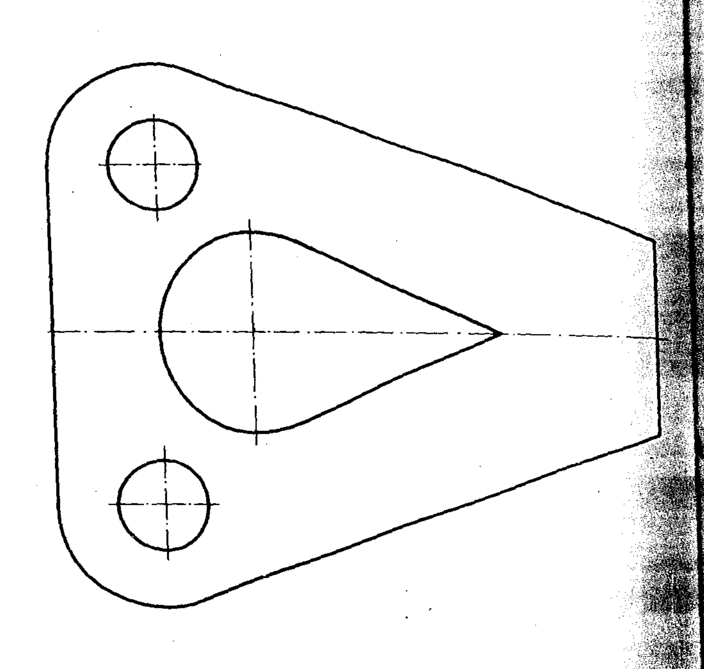


Fig. I, 146. *He aquí otro ejemplo de aplicación de varias construcciones de enlaces.*

MÉTODO DE LAS TRES PROYECCIONES

21. Concepto intuitivo de proyección ortogonal de un objeto sobre un plano

Supongamos que tenemos un objeto *a*, por ejemplo el representado en la figura I, 147, de forma geométrica bastante sencilla; imaginemos (para mayor comodidad) que colocamos una superficie plana de dicho objeto paralela a un plano α cubierto con una hoja de dibujo, y que con un largo y finísimo lápiz reseguimos el contorno del objeto y lo marcamos sobre el papel, manteniendo el lápiz constantemente perpendicular al plano α. Si a la línea que representa el perfil simple del objeto *a*, añadimos el segmento P_1Q_1, que representa, de modo semejante al resto del dibujo, la arista *PQ* del objeto, podremos decir que *el dibujo obtenido sobre el plano α representa todo lo que se ve del objeto, estando lejos del mismo y mirándolo perpendicularmente a la superficie paralela a α.*

Todo esto se expresa mucho más brevemente diciendo que **la figura trazada sobre el plano α es la proyección ortogonal del objeto *a* sobre el plano α.**

En páginas sucesivas se completará con más precisión el concepto de proyección que acabamos de exponer de modo tan intuitivo y elemental. Por otra parte, dicho concepto, en la forma que lo hemos dado a conocer, es ya suficiente para entender varias consideraciones que expondremos en el número siguiente.

22. Representación de un objeto mediante sus proyecciones ortogonales

Es evidente que la proyección ortogonal que hemos dibujado en la figura I, 147 *no es suficiente para representar un objeto.* Considerando el caso más general, siempre podemos imaginar un objeto cualquiera situado *en el interior de una caja en forma de paralelepípedo* (fig. I, 148); *y que sobre cada una de las 6 caras interiores de la misma efectuamos una proyección ortogonal* en todo semejante a la considerada anteriormente. En total se tendrán, pues, *6 proyecciones ortogonales, sobre las 6 caras interiores de la caja.*

Imaginemos ahora que cortamos (fig. I, 149) la caja de la figura I, 148 a lo largo de las aristas *AB, BC, CD, EF, FG, GH, BF; la caja se podrá abrir desarrollándola sobre un plano*, es decir, disponiendo todas sus caras sobre un plano, *de manera que se puedan contemplar simultáneamente todas las seis proyecciones, que tomarán sobre la hoja del dibujo las posiciones indicadas en la figura* I, 150.

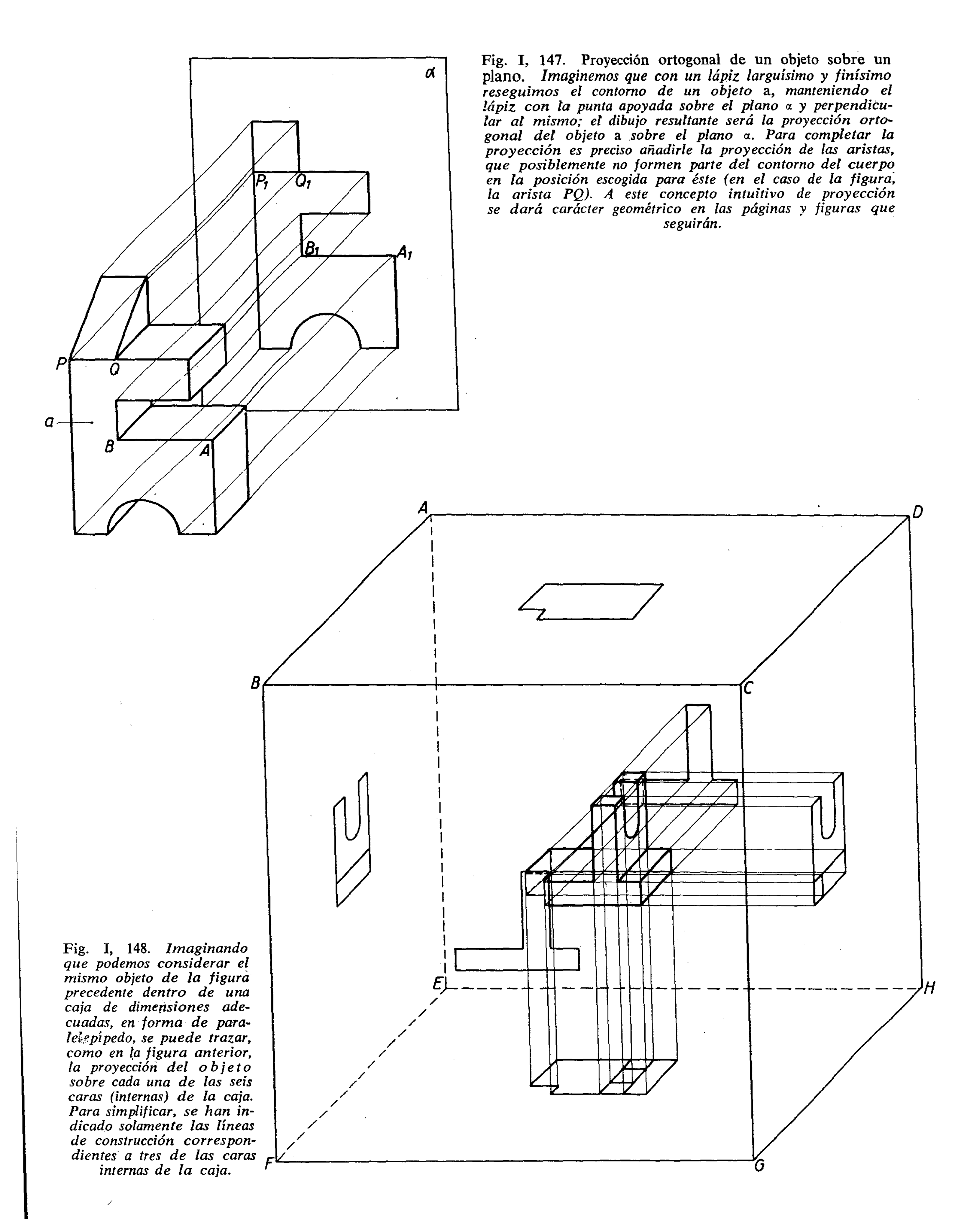


Fig. I, 147. Proyección ortogonal de un objeto sobre un plano. *Imaginemos que con un lápiz larguísimo y finísimo reseguimos el contorno de un objeto* a, *manteniendo el lápiz con la punta apoyada sobre el plano* α *y perpendicular al mismo; el dibujo resultante será la proyección ortogonal del objeto* a *sobre el plano* α. *Para completar la proyección es preciso añadirle la proyección de las aristas, que posiblemente no formen parte del contorno del cuerpo en la posición escogida para éste (en el caso de la figura, la arista PQ). A este concepto intuitivo de proyección se dará carácter geométrico en las páginas y figuras que seguirán.*

Fig. I, 148. *Imaginando que podemos considerar el mismo objeto de la figura precedente dentro de una caja de dimensiones adecuadas, en forma de paralelepípedo, se puede trazar, como en la figura anterior, la proyección del* objeto *sobre cada una de las seis caras (internas) de la caja. Para simplificar, se han indicado solamente las líneas de construcción correspondientes a tres de las caras internas de la caja.*

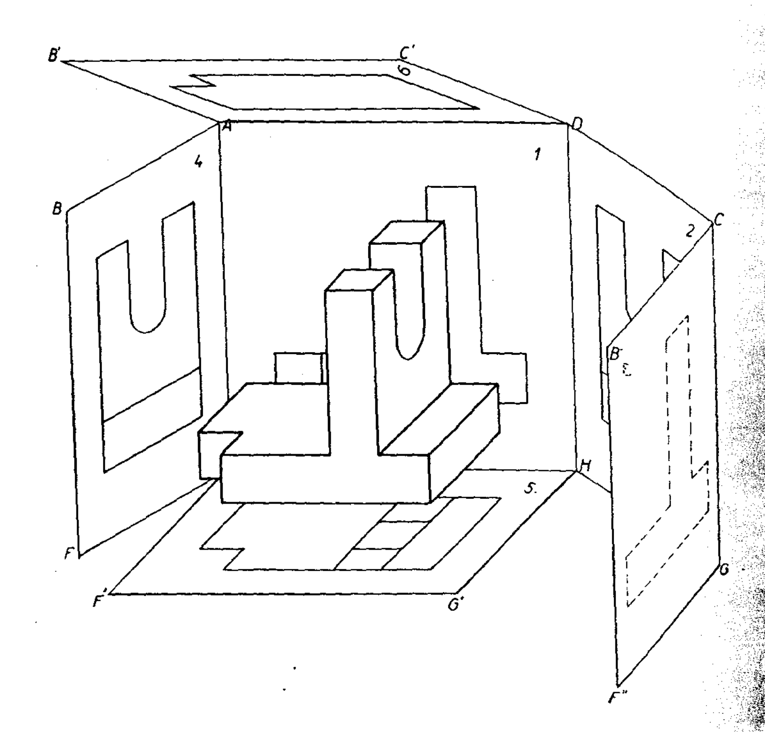


Fig. I, 149. *Si ahora imaginamos que cortamos la caja considerada en la figura anterior siguiendo las aristas* AB, BC, CD, EF, FG, GH, *la caja se podrá abrir, es decir, desarrollarla sobre un plano. Se tendrán, pues, en un plano seis distintas proyecciones del mismo objeto.*

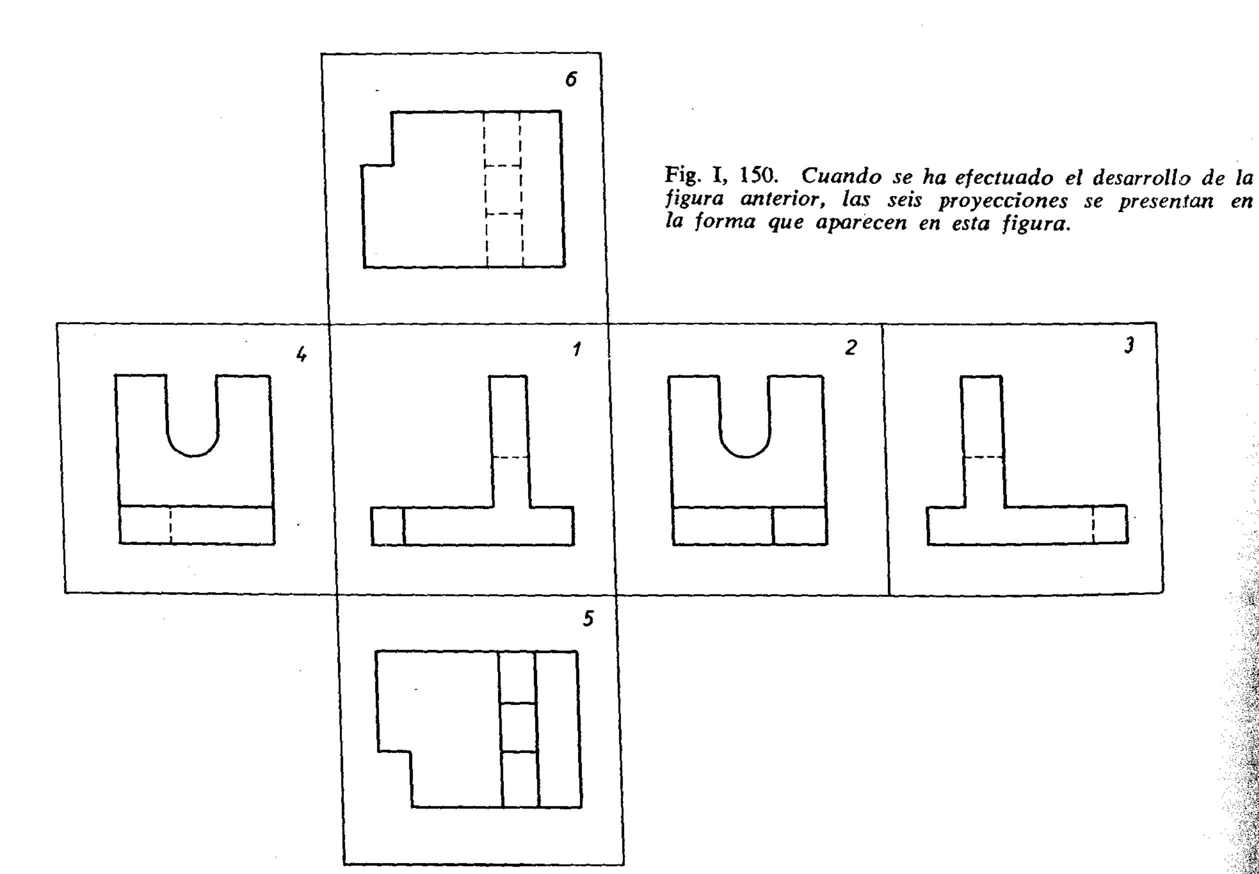


Fig. I, 150. *Cuando se ha efectuado el desarrollo de la figura anterior, las seis proyecciones se presentan en la forma que aparecen en esta figura.*

Estas proyecciones representan, por lo tanto, **seis** *vistas distintas de la pieza,* algunas de las cuales, consideradas como de mayor importancia, han recibido un nombre especial, que el dibujante indudablemente ha de conocer. Veamos, pues, lo que representan estas seis vistas:

1 *es la proyección de la parte delantera del objeto; se la denomina* **vista anterior;** *se le da frecuentemente el nombre de* **alzado.**

2 *es la representación del lado* **izquierdo** *del objeto,* proyectado de izquierda a derecha (refiriendo izquierda y derecha a la del observador). Se la denomina **vista lateral izquierda;** pero también se la llama frecuentemente **flanco** o *perfil.*

3 *es la cara posterior hacia adelante;* se denomina **vista posterior.**

4 *es la representación del lado* **derecho** *del objeto,* proyectado de derecha a izquierda (derecha e izquierda del observador); se denomina **vista lateral derecha.**

5 *es la proyección del objeto de arriba hacia abajo.* Se la denomina **vista superior,** y más corrientemente, **planta.**

6 *es la proyección del objeto de abajo hacia arriba,* y se la denomina **vista inferior.**

Las proyecciones **1, 2, 5** *son las principales; y generalmente son suficientes para representar las piezas mecánicas. Cuando se ha dibujado una pieza con las tres proyecciones indicadas, esto es, con* **alzado, planta** *y* **perfil** (fig. I, 151), *se dice que se ha hecho la representación del objeto por el* **método de las tres vistas** *o* **de las tres proyecciones.**

Cualquiera que sea el número de vistas dibujadas para la representación, cada una de ellas debe estar colocada con respecto a las otras *en la posición exacta que le corresponde,* como se ve en la figura I, 151. Insistiremos más adelante sobre este punto, de importancia capital en el dibujo técnico.

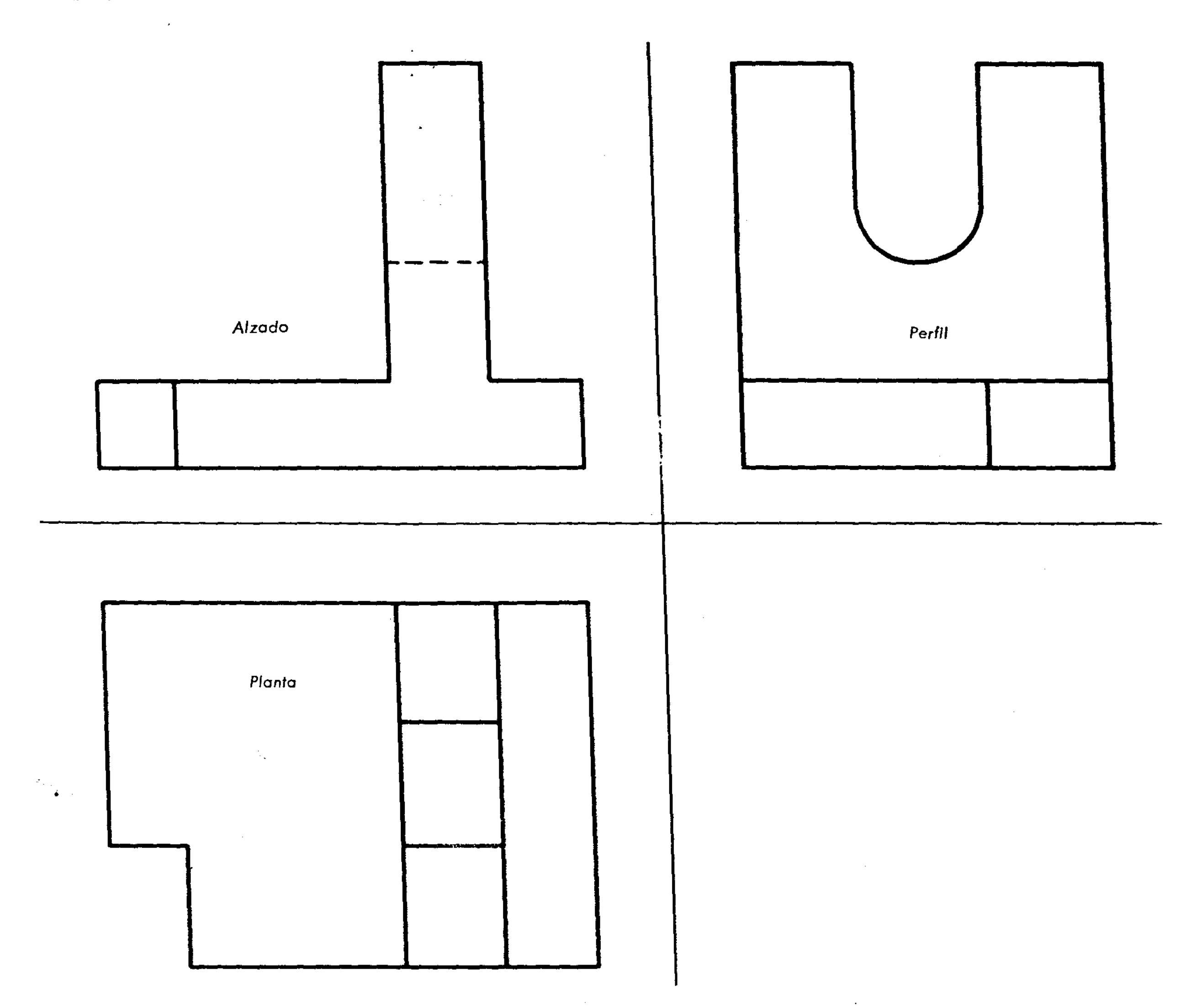


Fig. I, 151. *De las seis proyecciones de que tratamos anteriormente, hay tres consideradas como las principales y reciben los nombres de alzado, planta y perfil.*

23. Concepto geométrico de proyección sobre un plano

Iniciados así intuitivamente en el método de las tres proyecciones, conviene dar a los conceptos intuitivos una base geométrica.

Se sabe por la Geometría que *la proyección de un punto sobre un plano es el pie de la perpendicular trazada desde dicho punto al plano* (fig. I, 152).

Análogamente, *la proyección de un segmento dado sobre un plano es el segmento que une las proyecciones sobre dicho plano de los extremos del segmento* (fig. I, 153). Se ha de hacer notar que, *tratándose de proyecciones ortogonales,* **la longitud de las proyecciones es siempre menor o, a lo más, igual al segmento proyectado.** Resulta exactamente **igual** *sólo en el caso de que el segmento sea paralelo al plano,* y **menor** *en todos los demás casos.*

Cuando se haya de proyectar *una línea*

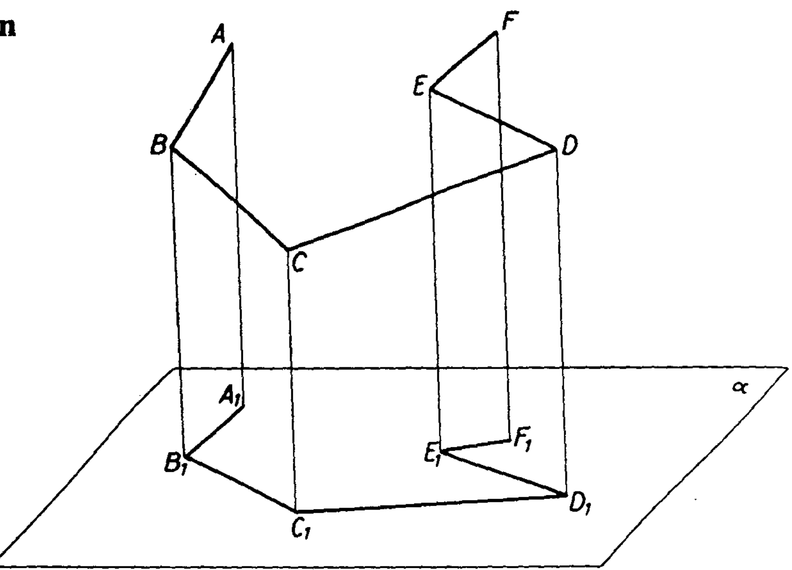


Fig. I, 154. Proyección de una línea quebrada o de un polígono, es la quebrada o el polígono que se obtiene proyectando todos los lados de la quebrada o del polígono sobre el plano considerado.

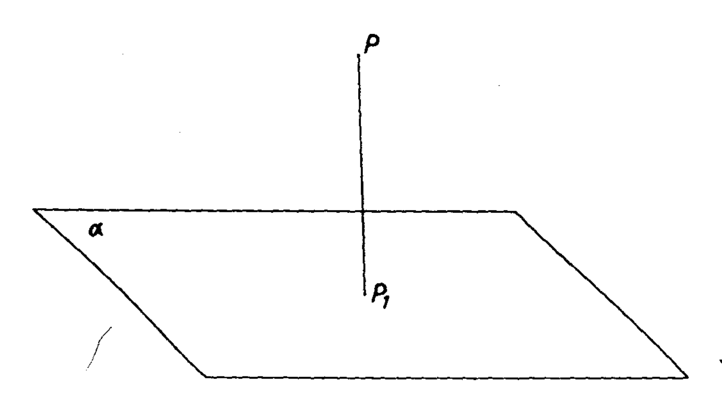


Fig. I, 152. Proyección de un punto **P** sobre un plano α, es el pie P_1 de la perpendicular al plano trazada desde dicho punto.

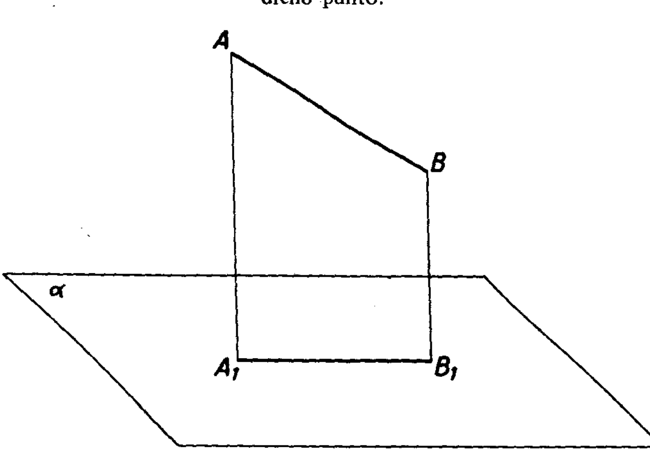


Fig. I, 153. Proyección de un segmento **AB** sobre un plano α, es el segmento A_1B_1 *que une las proyecciones de los extremos del segmento dado.*

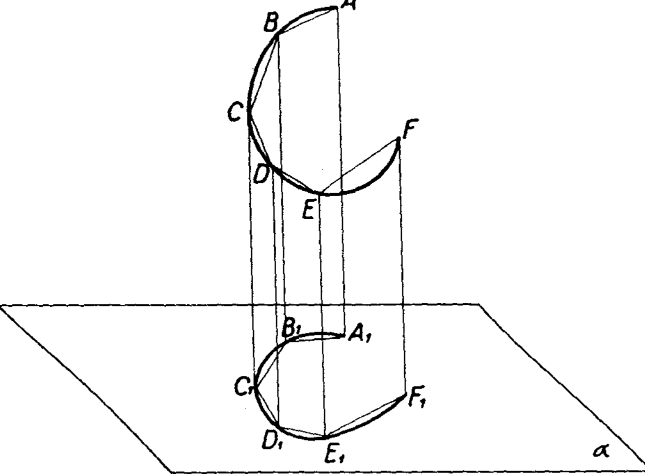


Fig. I, 155. *Para obtener la proyección de una curva se ha de substituir por una quebrada; proyectada la quebrada, se hace pasar por sus vértices una curva, que es la proyección de la curva dada.*

quebrada o un polígono, se deberán aplicar a todos los segmentos que forman la línea quebrada o el polígono las contrucciones y definiciones antes explicadas (fig. I, 154).

Cuando se haya de proyectar una curva, se debe sustituir, con la imaginación, dicha curva por una línea quebrada (fig. I, 155). Se proyecta esta línea quebrada y se unen los vértices de la proyección por una línea curva que, si los segmentos que forman la línea quebrada son bastante numerosos, representará la proyección de la curva dada.

Finalmente, si se trata de proyectar un cuerpo *sólido,* se aplicará cuanto antecede a cada una de sus caras; esto es, se efectuará la proyección de todas las aristas y vértices que sean visibles estando más allá del objeto, respecto al plano de la proyección (fig. I, 156).

Puede convenir que aparezcan también en la proyección *aristas y vértices invisibles* estando en la posición indicada; ya simplemente para facilitar la interpretación del dibujo, ya por ser absolutamente necesario para que la representación del objeto resulte completa (por ejemplo, cuando el objeto tiene un hueco interior). En tal caso, *se sigue la norma corriente para representar las líneas ocultas, pero en la proyección se dibujarán éstas con* **líneas de trazos** (fig. I. 157).

Aunque pueda parecer superfluo, por evidente, se llama la atención del lector sobre el hecho de que, *al cambiar la posición del objeto respecto al plano, varía también su proyección sobre este plano* (figs. I, 158-160).

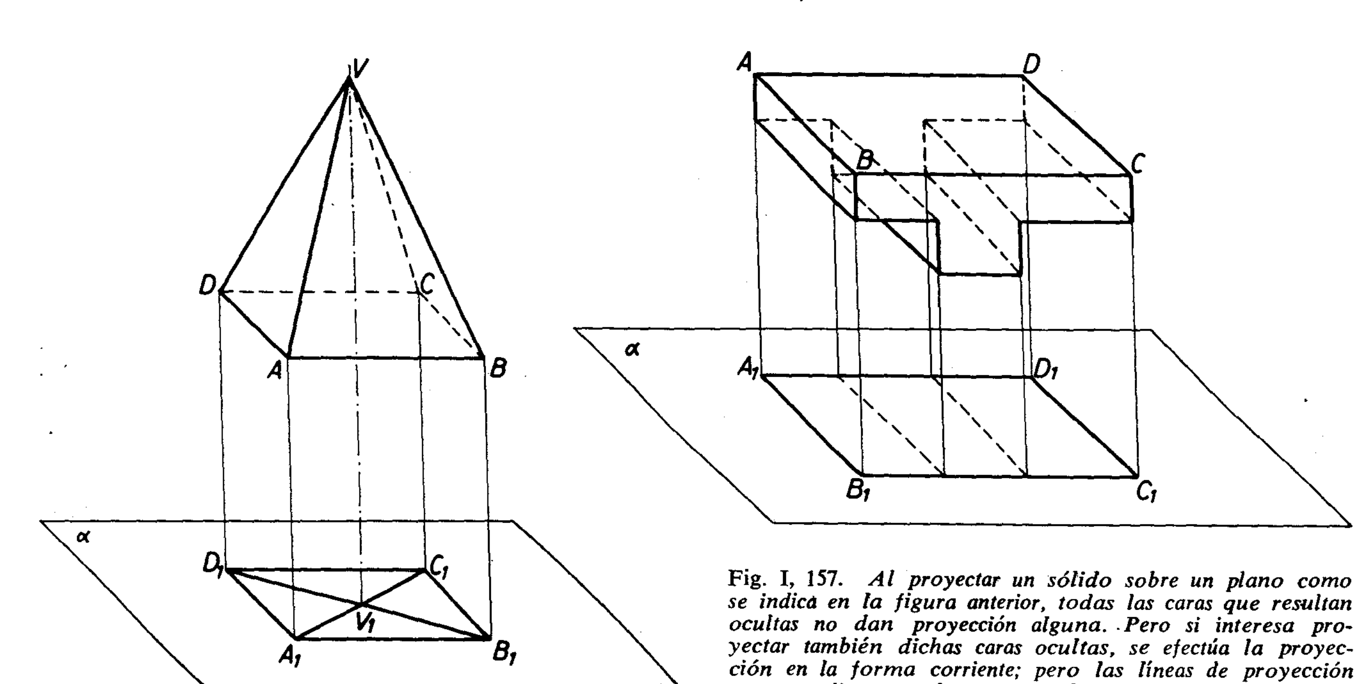


Fig. I, 156. *Para proyectar un sólido sobre un plano se proyectan sobre el plano todas las caras del sólido que se pueden ver estando más allá del objeto, respecto al plano de proyección.*

Fig. I, 157. *Al proyectar un sólido sobre un plano como se indica en la figura anterior, todas las caras que resultan ocultas no dan proyección alguna. Pero si interesa proyectar también dichas caras ocultas, se efectúa la proyección en la forma corriente; pero las líneas de proyección correspondientes a las caras ocultas se han de dibujar con trazos.*

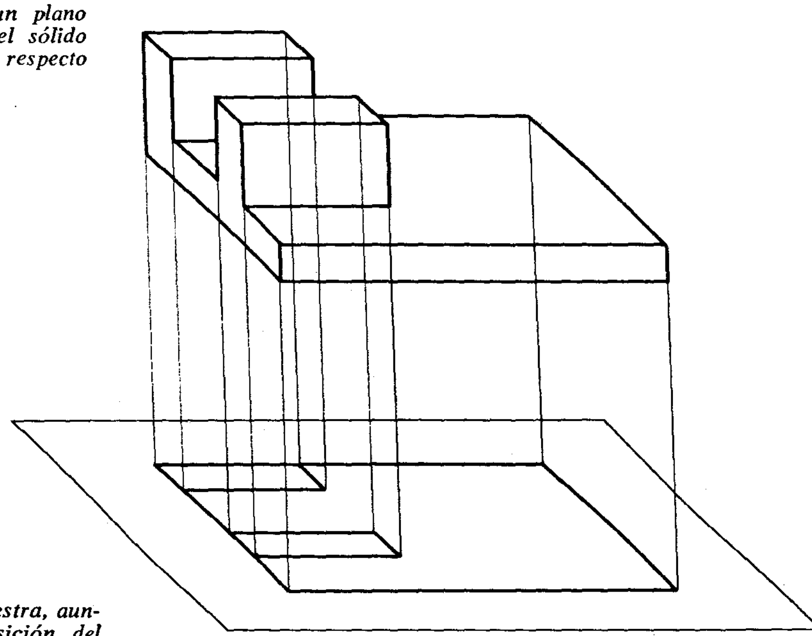


Fig. I, 158.

Figs. I, 158-160. *En estas tres figuras se demuestra, aunque sea evidentísimo, que cambiando la posición del objeto proyectado respecto al plano cambia también la proyección del objeto sobre dicho plano.*

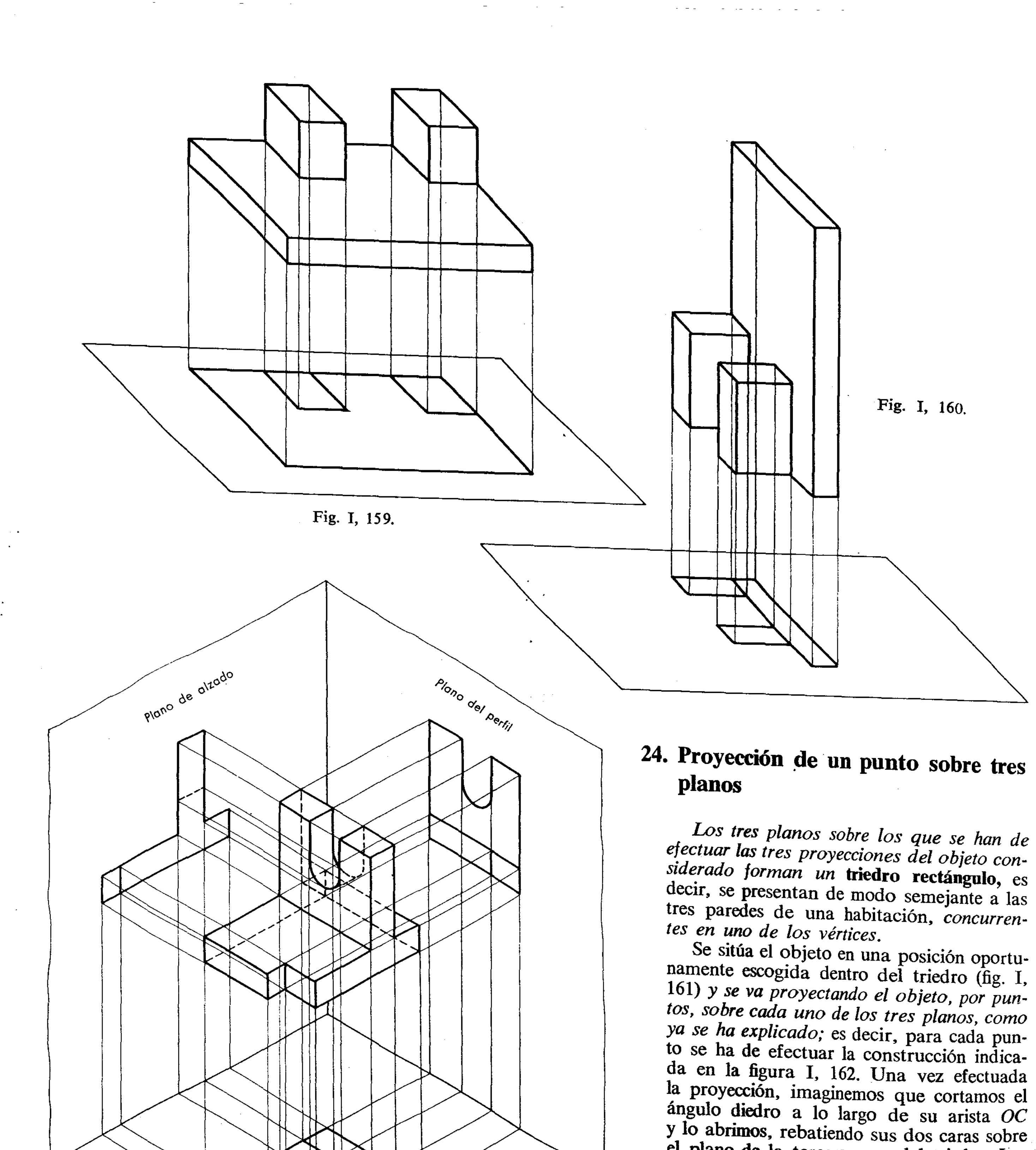


Fig. I, 159.

Fig. I, 160.

24. Proyección de un punto sobre tres planos

Los tres planos sobre los que se han de efectuar las tres proyecciones del objeto considerado forman un **triedro rectángulo,** es decir, se presentan de modo semejante a las tres paredes de una habitación, *concurrentes en uno de los vértices.*

Se sitúa el objeto en una posición oportunamente escogida dentro del triedro (fig. I, 161) *y se va proyectando el objeto, por puntos, sobre cada uno de los tres planos, como ya se ha explicado;* es decir, para cada punto se ha de efectuar la construcción indicada en la figura I, 162. Una vez efectuada la proyección, imaginemos que cortamos el ángulo diedro a lo largo de su arista *OC* y lo abrimos, rebatiendo sus dos caras sobre el plano de la tercera cara del triedro. Las tres proyecciones del punto tomarán, después de este rebatimiento de los planos primero y tercero, la posición indicada en la figura I, 163; esta posición quedará determinada por lo que explicamos a continuación:

Fig. I, 161. *Para dibujar las tres proyecciones principales de un objeto se ha de colocar convenientemente en un triedro, como indica la figura.*

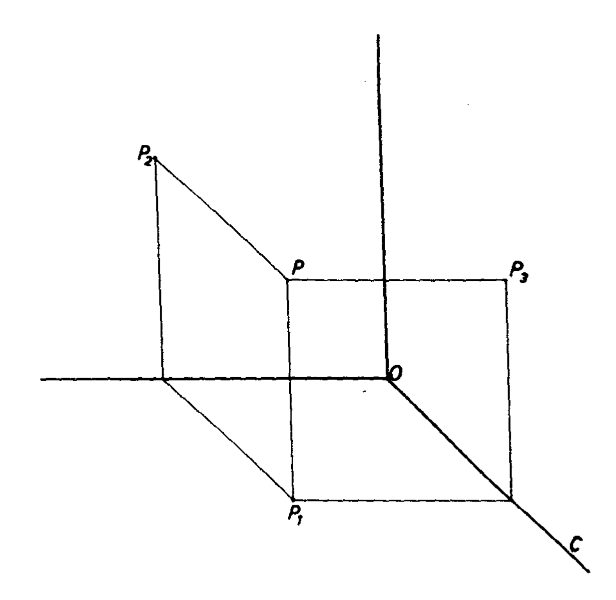


Fig. I, 162. *Para proyectar el objeto sobre las caras internas del triedro se ha de efectuar para cada uno de sus puntos la proyección indicada en esta figura.*

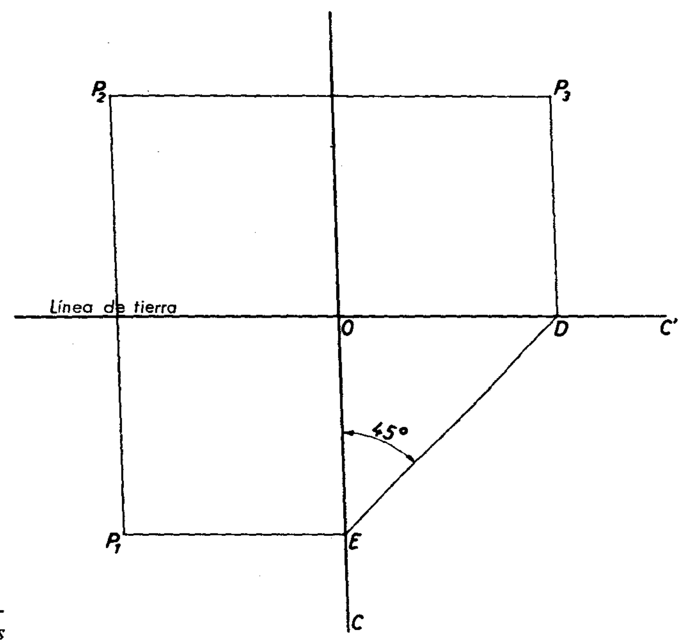


Fig. I, 164. *En la figura anterior, la igualdad de los segmentos* OE *y* OD *se ha obtenido trazando un arco de circunferencia con centro en* O *y radio* OE. *Pero también se puede obtener más fácilmente trazando una recta* ED *a 45°, sin necesidad de compás.*

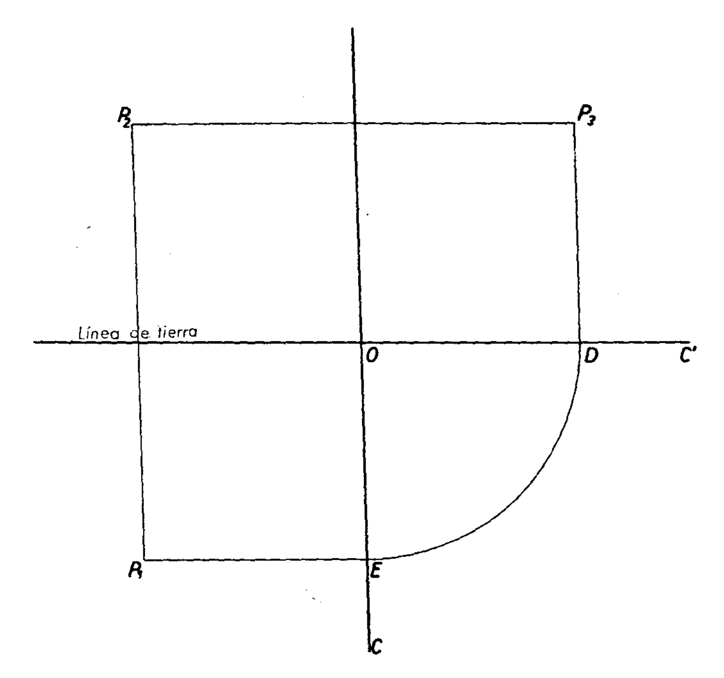


Fig. I, 163. *Al abrir el triedro, las tres proyecciones toman las posiciones recíprocas indicadas en esta figura, que es de importancia fundamental.* La primera y la segunda proyección de cada punto se hallan sobre la misma perpendicular a la línea de tierra; la segunda y la tercera se hallan sobre la misma paralela a la línea de tierra; y los segmentos **OE** y **OD**, correspondientes a la primera y a la tercera proyección respectivamente, son **iguales.** *Por esto, dadas dos proyecciones, se puede determinar inmediatamente la tercera.*

a) *La primera proyección* $\mathbf{P}_1$ *y la segunda* $\mathbf{P}_2$, *llamadas* **planta** *y* **alzado** *del punto, se hallan* **sobre una misma perpendicular a la recta OD,** *llamada* **línea de tierra.**

b) *La segunda proyección* $\mathbf{P}_2$ *y la tercera* $\mathbf{P}_3$ *se hallan sobre una misma paralela a la línea de tierra.*

c) *Para hallar la tercera proyección, teniendo la primera y la segunda (o viceversa), bastará trazar por la segunda proyección una paralela a la línea de tierra hasta encontrar en* **E** *a la semirrecta* **OC;** *haciendo centro en* **O,** *con radio* **OE,** *se traza un arco* **OD,** *hasta su intersección con* **OC'.** *Por el punto* **D** *se levanta una perpendicular a la línea de tierra, cuya intersección con la paralela antes trazada por el punto* $\mathbf{P}_2$ *determinará la* **tercera proyección** *buscada.*

Esta construcción es sencillamente transportar sobre *OC'* un segmento $OD = OE$. De ahí que, en vez de emplear el compás trazando un cuarto de circunferencia, se puede usar una escuadra de 45°, trazando el segmento *ED* (fig. I, 164). Este segundo método es el preferido por los dibujantes.

De igual manera, *dadas la 2.ª y la 3.ª proyección, se determina la primera,* o *dadas la 1.ª y la 3.ª se determina la segunda.* Es decir, **dadas dos cualquiera de las tres proyecciones de un punto, se determina inmediatamente la tercera.**

25. Proyecciones de un cuerpo sobre tres planos

Cuanto se ha dicho para la representación de un punto, se aplica sin diferencia alguna a la representación de los segmentos (figs. I, 165-168), de una línea quebrada (fig. I, 169), de un polígono (fig. I, 170), de sólidos geométricos (figs. I, 171-173).

En la figura I, 151 ya se ha indicado cómo se presentan las tres proyecciones del objeto tantas veces representado. Extendiendo cuanto se ha dicho relativo a la proyección del punto, a la proyección total del objeto, tenemos las relaciones siguientes de tamaño y de posición entre las tres proyecciones (fig. I, 174):

a) **El alzado y la planta tienen la misma anchura y están situados en una misma faja perpendicular a la línea de tierra; los puntos correspondientes de ambas proyecciones se hallan sobre una misma perpendicular a la línea de tierra.**

b) **La planta y el perfil tienen la misma anchura y los puntos correspondientes se hallan en la posición determinada con la construcción indicada en la figura.**

c) **El alzado y el perfil tienen la misma altura y están situados en una misma faja paralela a la línea de tierra; los puntos correspondientes de ambas proyecciones se hallan sobre una misma paralela a la línea de tierra.**

Las reglas precedentes tienen un valor absolutamente general; *un dibujo en el que no se cumplan es, por este solo hecho, inaceptable.*

Ya se ha hecho observar que cambiando la posición del objeto con respecto a los tres planos de proyección varían las tres proyecciones. Pueden darse dos casos: que dicha variación se limite a un simple cambio de sus posiciones relativas (figs. I, 175-177); o bien que las tres proyecciones sean diferentes.

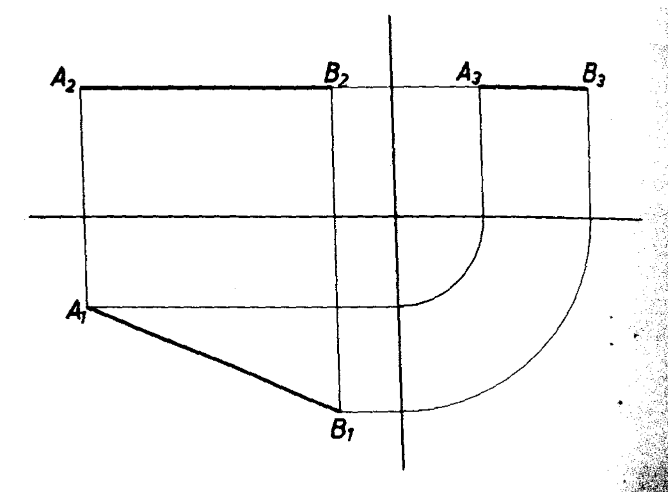


Fig. I, 166. *Esta figura representa las proyecciones de un segmento AB, colocado en un plano horizontal, es decir, en un plano perpendicular a los planos de alzado y de perfil.*

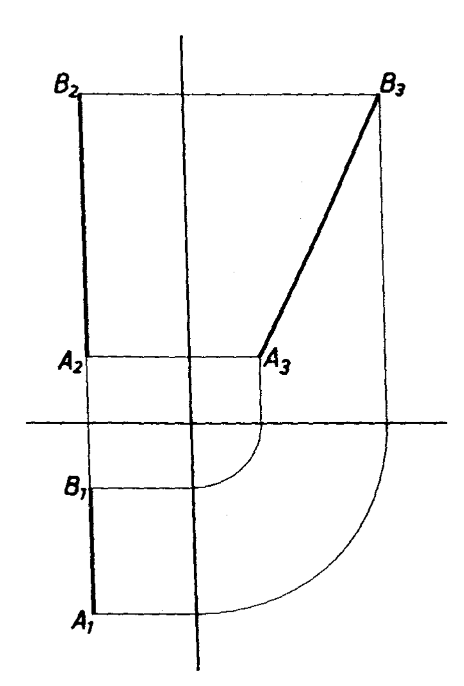


Fig. I, 165. *Así es como se presentan las tres proyecciones de un segmento situado en un plano perpendicular a la línea de tierra, es decir, en un plano vertical, perpendicular a los planos de la planta y del alzado.*

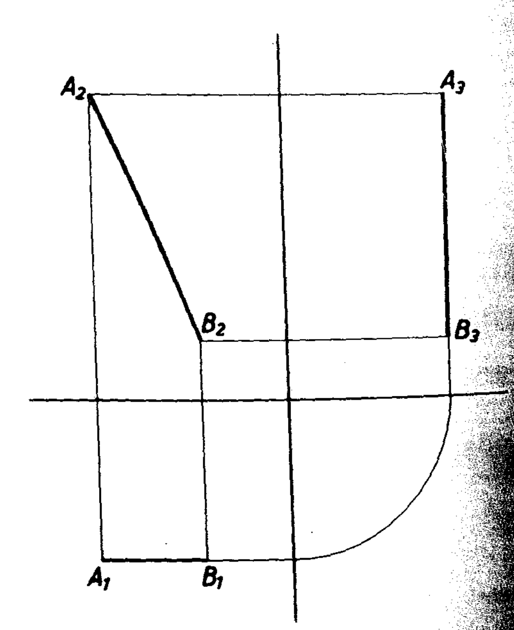


Fig. I, 167. *Esta figura representa las tres proyecciones de un segmento AB, colocado en un plano vertical paralelo a la línea de tierra.*

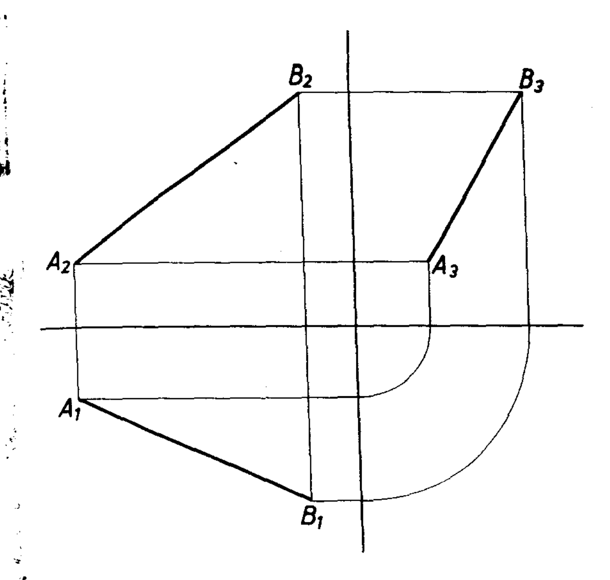


Fig. I, 168. *Esta figura representa las tres proyecciones de un segmento* AB, *sin ninguna posición especial respecto a los tres planos de proyección.*

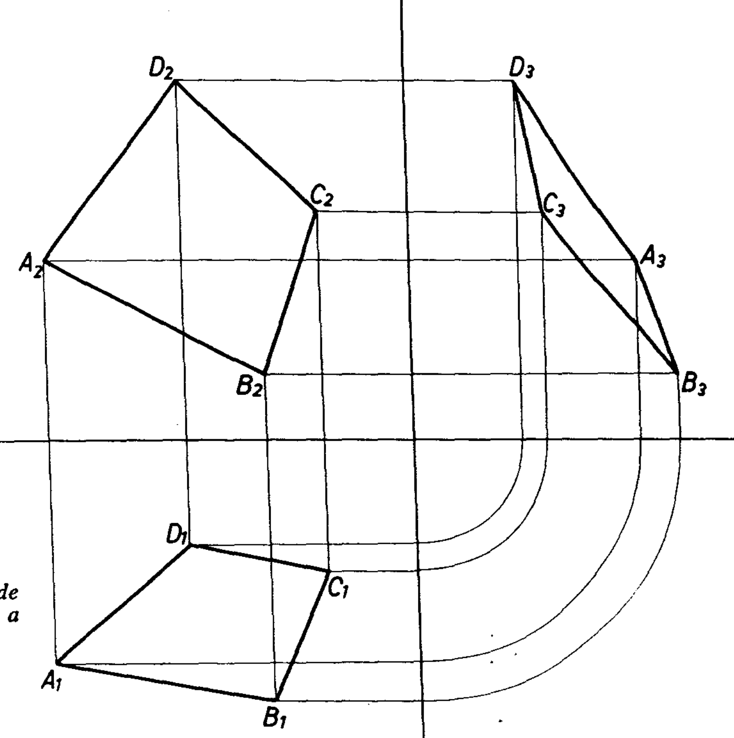


Fig. I, 170. *Un cuadrilátero* ABCD, *colocado en una posición cualquiera, da las tres proyecciones indicadas en la figura.*

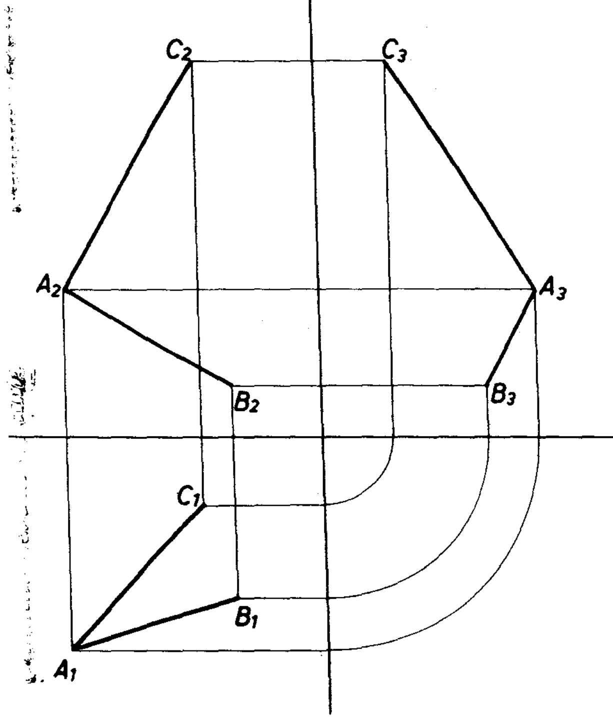


Fig. I, 169. *He aquí las tres proyecciones de una quebrada* CAB.

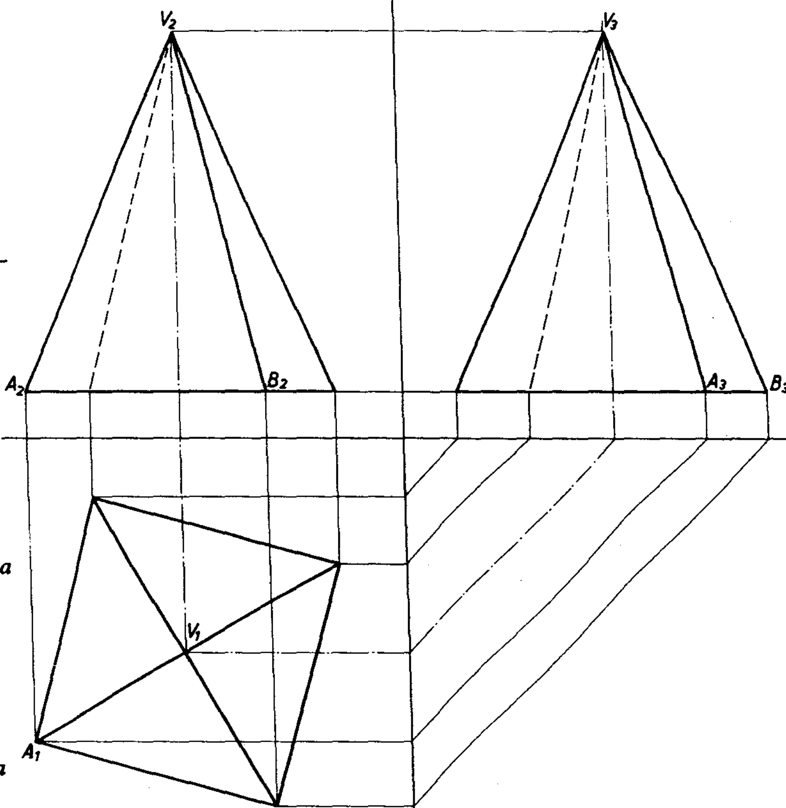


Fig. I, 171. *He aquí las tres proyecciones de una pirámide de vértice* V *y de base cuadrada.*

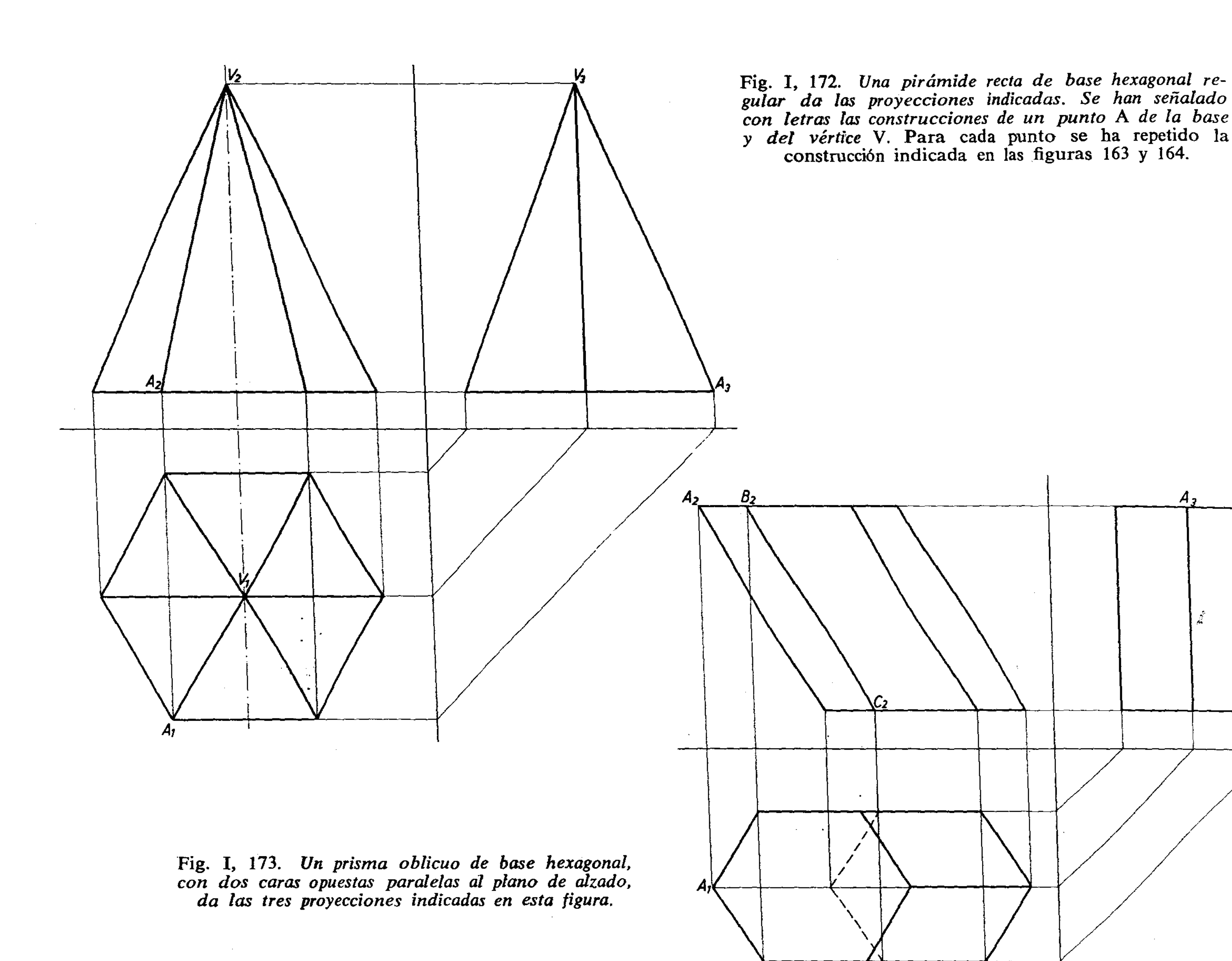


Fig. I, 172. *Una pirámide recta de base hexagonal regular da las proyecciones indicadas. Se han señalado con letras las construcciones de un punto* A *de la base y del vértice* V. Para cada punto se ha repetido la construcción indicada en las figuras 163 y 164.

Fig. I, 173. *Un prisma oblicuo de base hexagonal, con dos caras opuestas paralelas al plano de alzado, da las tres proyecciones indicadas en esta figura.*

Alzado

Faja horizontal conteniendo el alzado y el perfil

Perfil

Faja vertical conteniendo la planta y el alzado

Línea de tierra

Planta

Faja conteniendo la planta y el perfil

Fig. I, 174. *Extendiendo a las tres proyecciones de un objeto cualquiera cuanto se ha dicho a propósito de las tres proyecciones del punto* (fig. I, 163), *resulta que* las tres proyecciones del objeto deben **forzosamente** satisfacer las condiciones de posición y de extensión que aparecen claramente en esta figura. *Cuando tales condiciones no se verifican, el dibujo está* mal hecho.

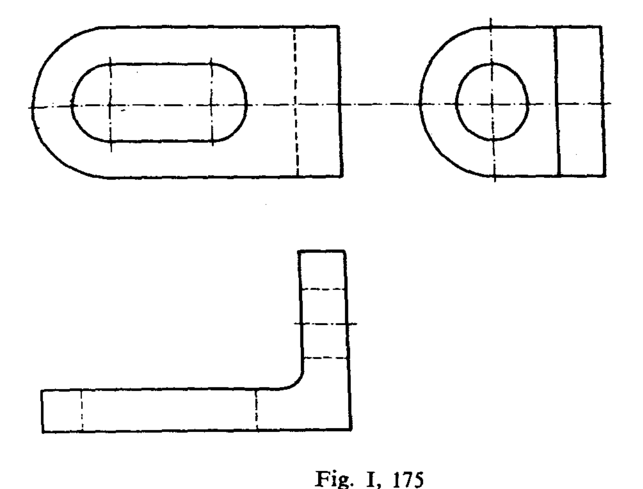
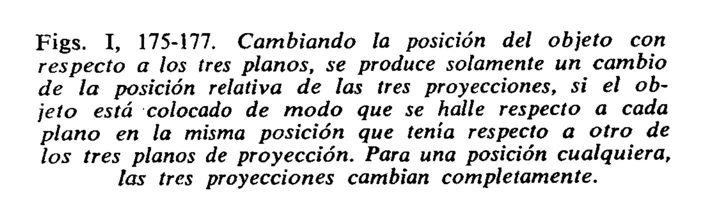


Fig. I, 175

Fig. I, 176



Figs. I, 175-177. *Cambiando la posición del objeto con respecto a los tres planos, se produce solamente un cambio de la posición relativa de las tres proyecciones, si el objeto está colocado de modo que se halle respecto a cada plano en la misma posición que tenía respecto a otro de los tres planos de proyección. Para una posición cualquiera, las tres proyecciones cambian completamente.*

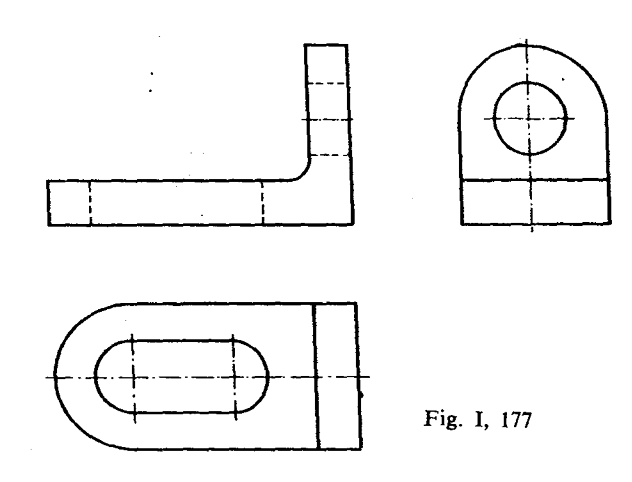


Fig. I, 177

Con lo dicho hemos dado un carácter geométrico a todo lo iniciado intuitivamente. No hay, pues, necesidad de más extensas consideraciones para explicar cómo resultan determinadas las magnitudes y posiciones de todas las seis distintas proyecciones ortogonales, obtenidas intuitivamente en el n.° 21 (fig. I, 150).

En los dibujos técnicos, como ya se ha dicho, se usan generalmente las tres proyecciones principales. *En caso de no ser suficientes, se puede añadir alguna de las otras proyecciones.*

En cuanto a *la colocación del objeto con respecto a los planos de proyección, es evidente que la mejor posición será* **aquella cuyas tres proyecciones hagan visibles la mayor parte de las características de la pieza.** *Como regla general,* **se orienta el objeto de manera que su alzado lo represente de la mejor manera posible.** Se volverá sobre ello al tratar de las normas unificadas para los dibujos técnicos.

26. Ejemplos

Aplicando lo dicho anteriormente, en las figuras que siguen se representan con las tres proyecciones algunos objetos sencillos (figs. 178-183). Para los primeros objetos se ha dibujado, a escala reducida, una representación de conjunto de cada uno de ellos. Para los sucesivos se ha suprimido dicha representación, siendo necesario que el joven empiece desde ahora a practicar el esfuerzo mental necesario para hacerse cargo de la forma del objeto por el examen de sus tres proyecciones.

Sobre este punto se ha de hacer notar explícitamente que cuando el objeto tiene cierto grado de simetría pueden resultar iguales dos de sus proyecciones. Esto ocurre, por ejemplo, en un cilindro, en un prisma recto de sección cuadrada (figs. I, 184-185), etc. En

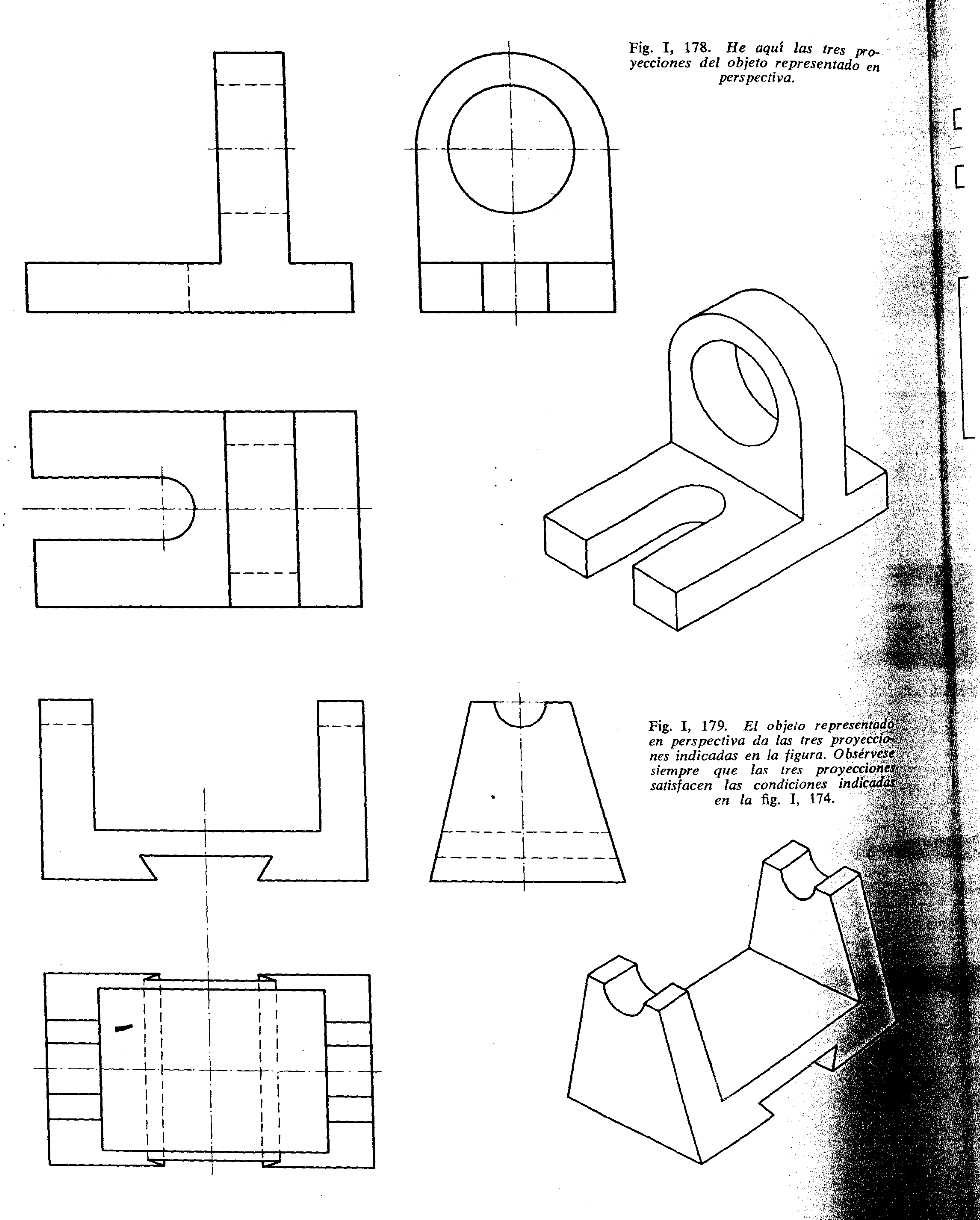


Fig. I, 178. *He aquí las tres proyecciones del objeto representado en perspectiva.*

Fig. I, 179. *El objeto representado en perspectiva da las tres proyecciones indicadas en la figura. Obsérvese siempre que las tres proyecciones satisfacen las condiciones indicadas en la* fig. I, 174.

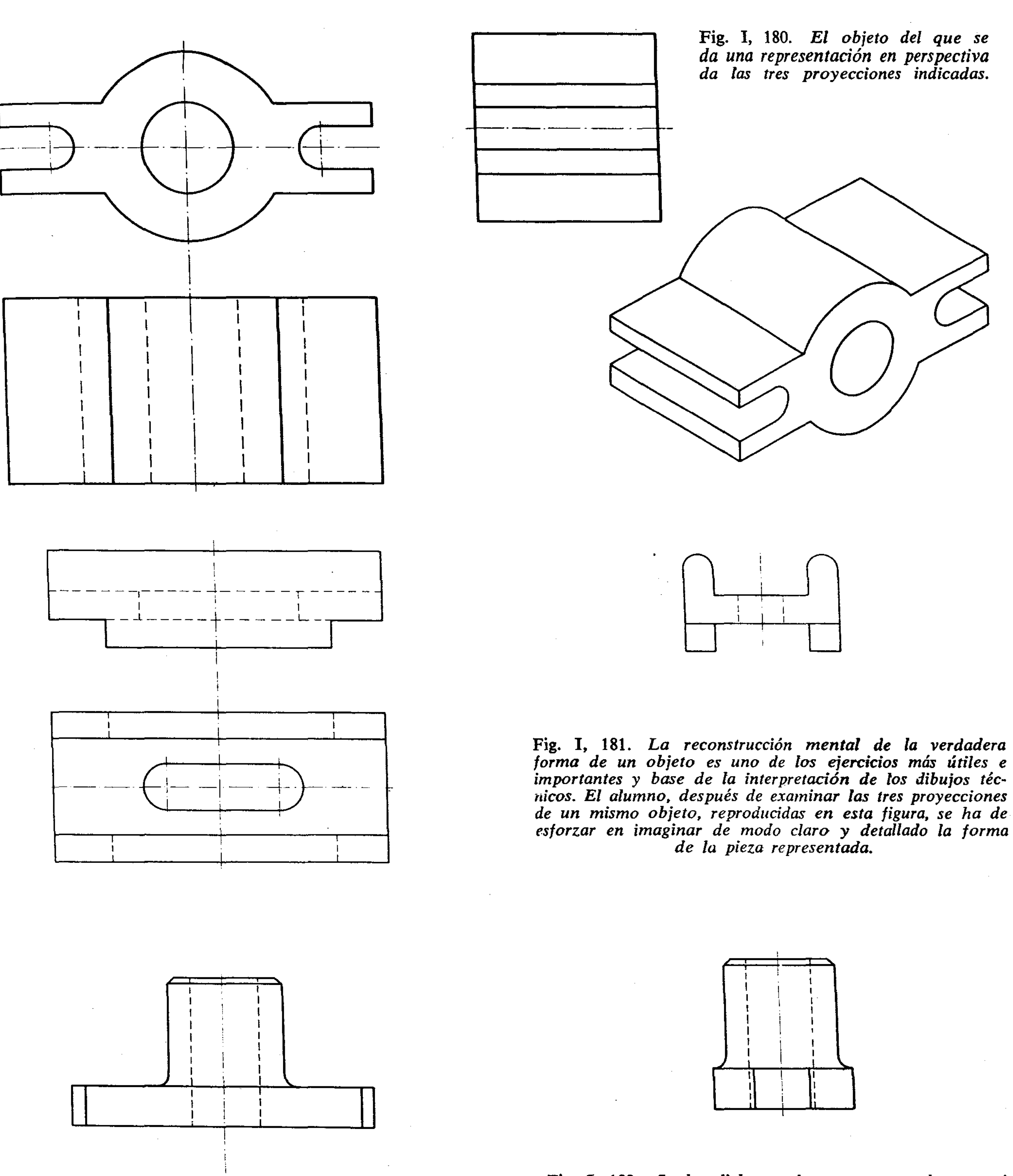


Fig. I, 180. *El objeto del que se da una representación en perspectiva da las tres proyecciones indicadas.*

Fig. I, 181. *La reconstrucción mental de la verdadera forma de un objeto es uno de los ejercicios más útiles e importantes y base de la interpretación de los dibujos técnicos. El alumno, después de examinar las tres proyecciones de un mismo objeto, reproducidas en esta figura, se ha de esforzar en imaginar de modo claro y detallado la forma de la pieza representada.*

Fig. I, 182. *Se ha dicho muchas veces que el mayor inconveniente de la representación de una pieza por sus tres proyecciones es que no da una idea clara de la forma del objeto. Esta forma se puede imaginar únicamente con un estudio simultáneo de las tres proyecciones. Cuando la pieza es sencilla, como la de esta figura, no es difícil su estudio. Pero tratándose de piezas complicadas, el estudio de las tres proyecciones, para deducir mentalmente con claridad la verdadera forma de la pieza, es muy complicado y requiere un esfuerzo mental muy considerable.*

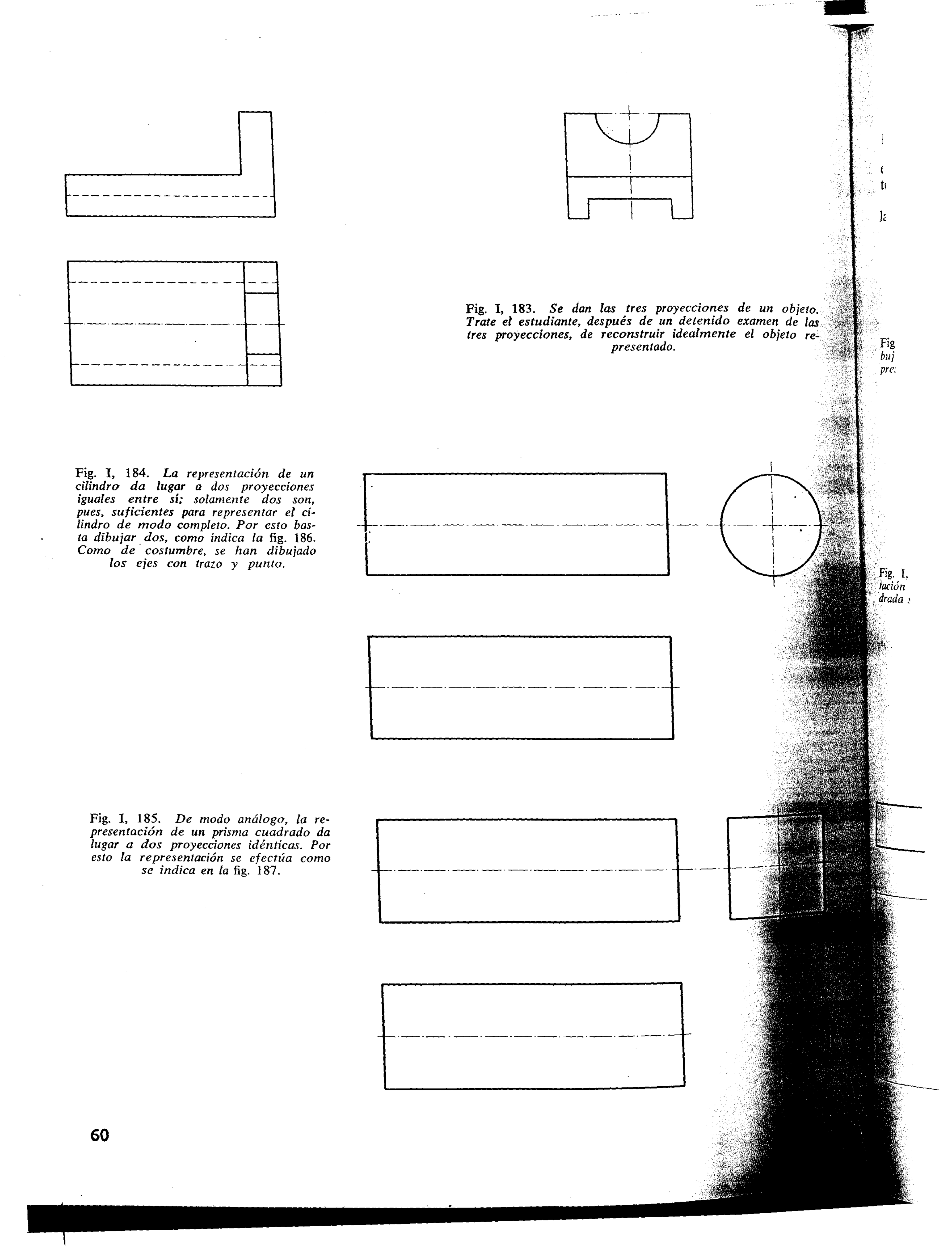


Fig. I, 183. *Se dan las tres proyecciones de un objeto. Trate el estudiante, después de un detenido examen de las tres proyecciones, de reconstruir idealmente el objeto representado.*

Fig. I, 184. *La representación de un cilindro da lugar a dos proyecciones iguales entre sí; solamente dos son, pues, suficientes para representar el cilindro de modo completo. Por esto basta dibujar dos, como indica la* fig. 186. *Como de costumbre, se han dibujado los ejes con trazo y punto.*

Fig. I, 185. *De modo análogo, la representación de un prisma cuadrado da lugar a dos proyecciones idénticas. Por esto la representación se efectúa como se indica en la* fig. 187.

este caso se efectúa su representación con sólo dos proyecciones (figs. I, 186-187).

En las páginas que siguen hemos propuesto algunos ejercicios; dadas dos proyecciones de un objeto, determinar la tercera (figs. I, 188-201).

El dibujo de la proyección que falta se hará con la mayor facilidad aplicando las reglas y consideraciones expuestas en el n.° 25 y en la figura I, 174 y su correspondiente epígrafe. Lo primero que se ha de hacer, pues, es determinar el rectángulo en el que se ha de colocar, **en su posición exacta,** la proyección buscada.

A continuación se determina, punto por punto, o recta por recta, la proyección que falta, procediendo

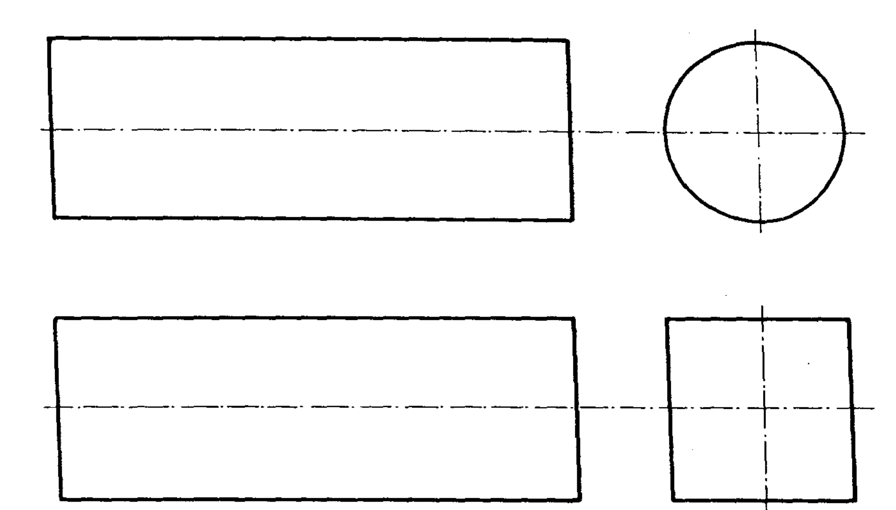
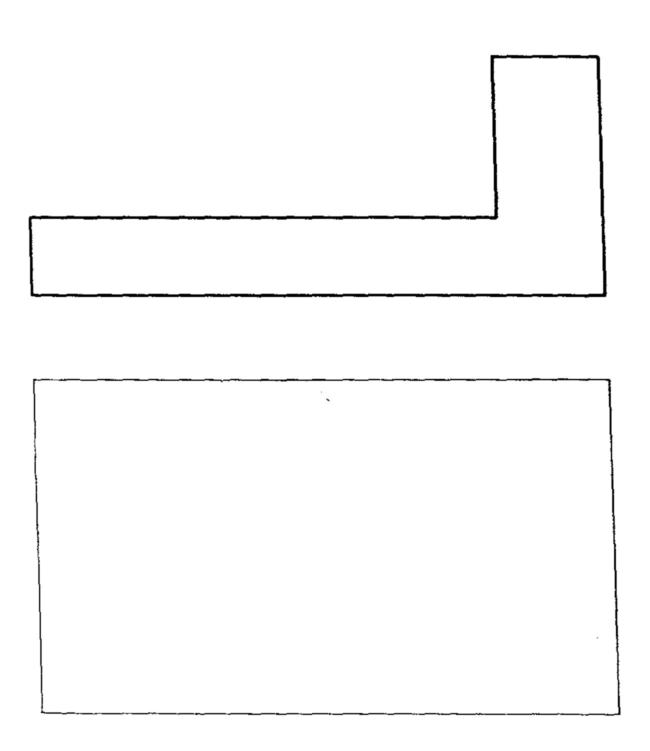


Fig. I, 186. *Siendo innecesario el dibujo de dos proyecciones iguales, se representa un cilindro con sólo dos proyecciones.*

Fig. I, 187. *Análogamente la representación de un prisma recto de base cuadrada se hace con sólo dos proyecciones.*



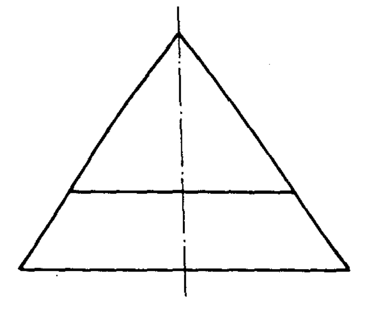


Fig. I, 188. *Dibujar la planta de una pieza, dados el alzado y el perfil. Para facilitar el ejercicio se dan, mediante un recuadro, en la presente figura y sucesivas, las medidas de extensión de la proyección pedida.*

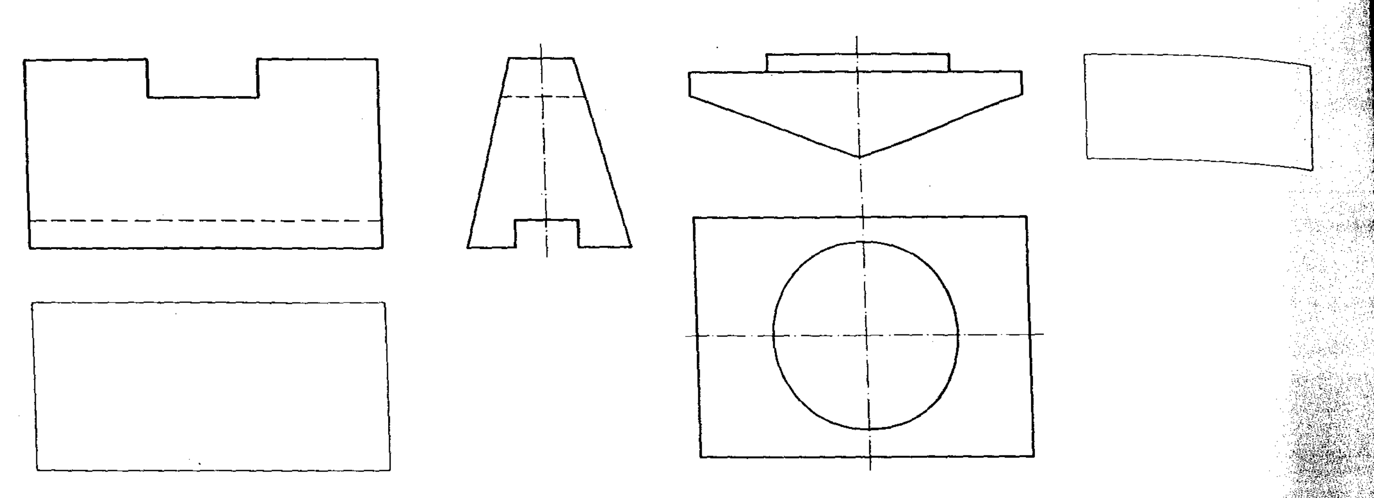


Fig. I, 189. *Dibujar la planta de una pieza, dados el alzado y el perfil.*

Fig. I, 192. *Dibujar el perfil de un objeto representado mediante alzado y planta.*

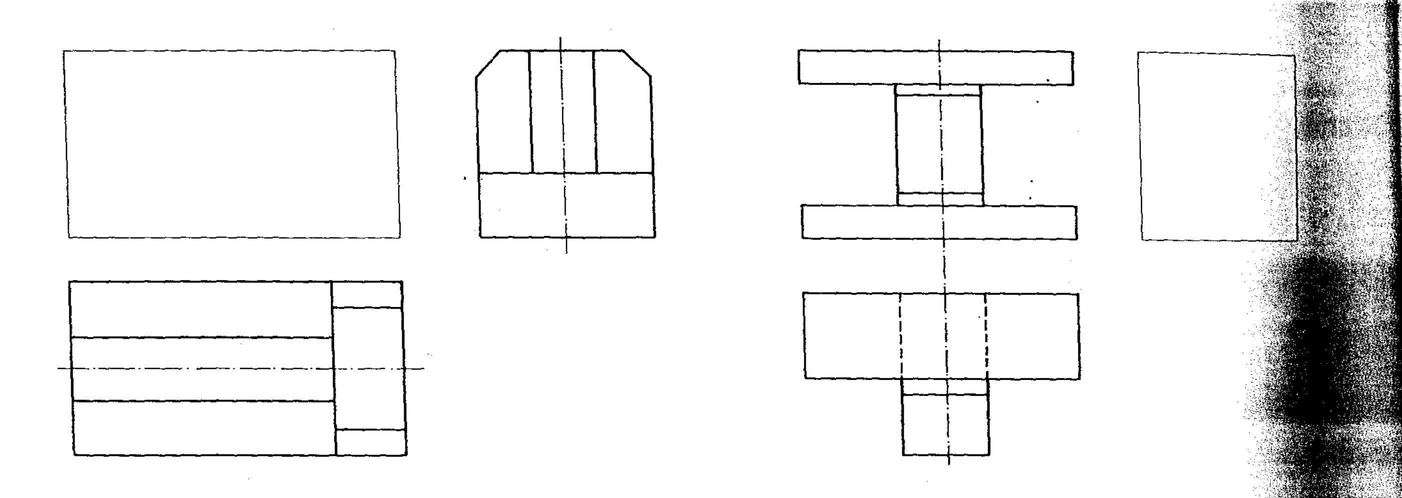


Fig. I, 190. *Dibujar el alzado del objeto del que se dan planta y perfil.*

Fig. I, 193. *Dibujar el perfil del objeto representado mediante alzado y planta.*

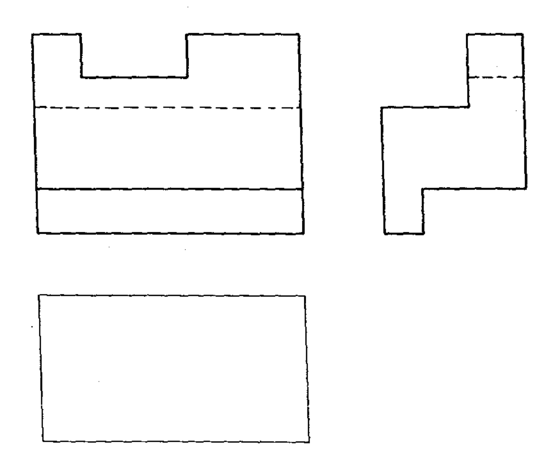


Fig. I, 191. *Dibujar la planta del objeto representado con alzado y perfil.*

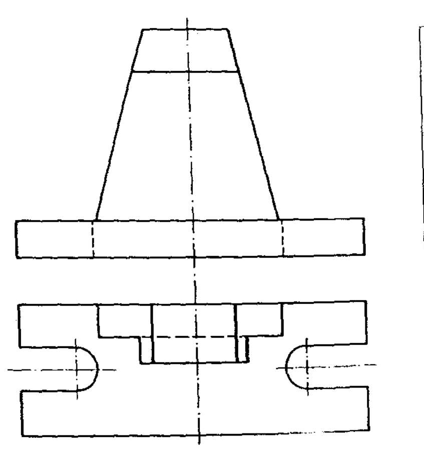


Fig. I, 194. *Dibujar el perfil del objeto del qu*[illegible] *alzado y planta.*

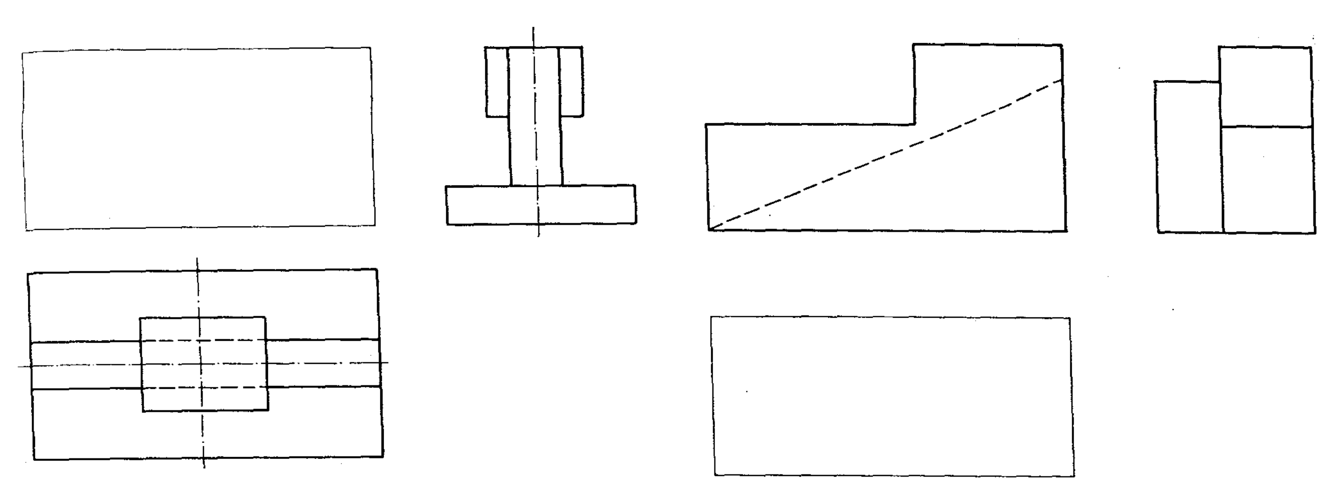


Fig. I, 195. *Dibujar el alzado de un objeto representado con planta y perfil.*

Fig. I, 198. *Dibujar la planta del objeto representado mediante alzado y perfil.*

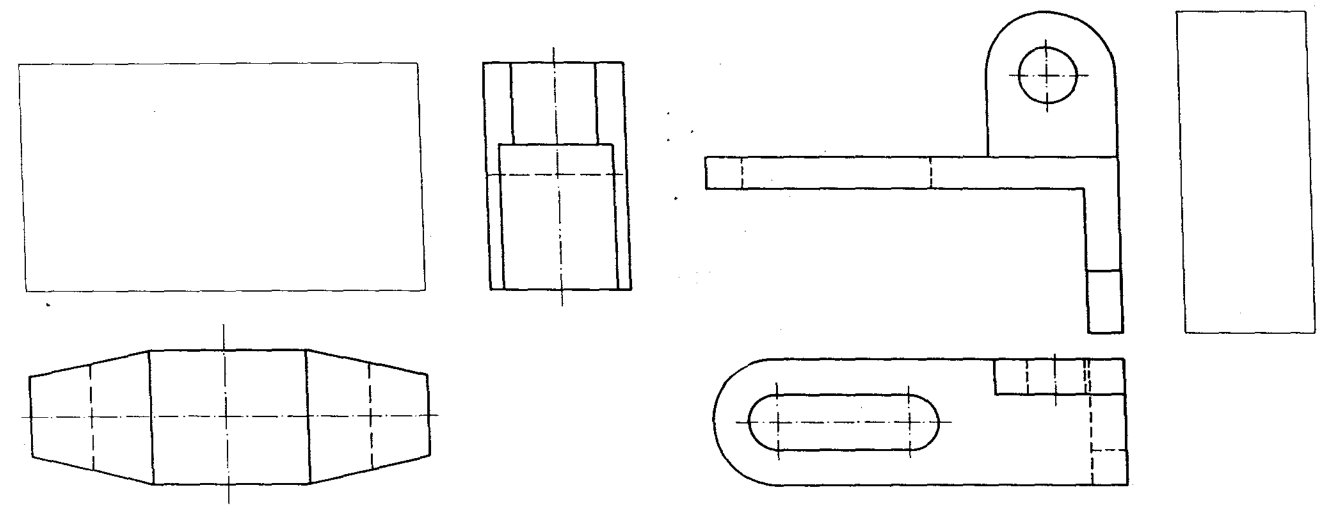


Fig. I, 196. *Dibujar el alzado del objeto del que se dan planta y perfil.*

Fig. I, 199. *Dibujar el perfil del objetó del que se dan alzado y planta.*

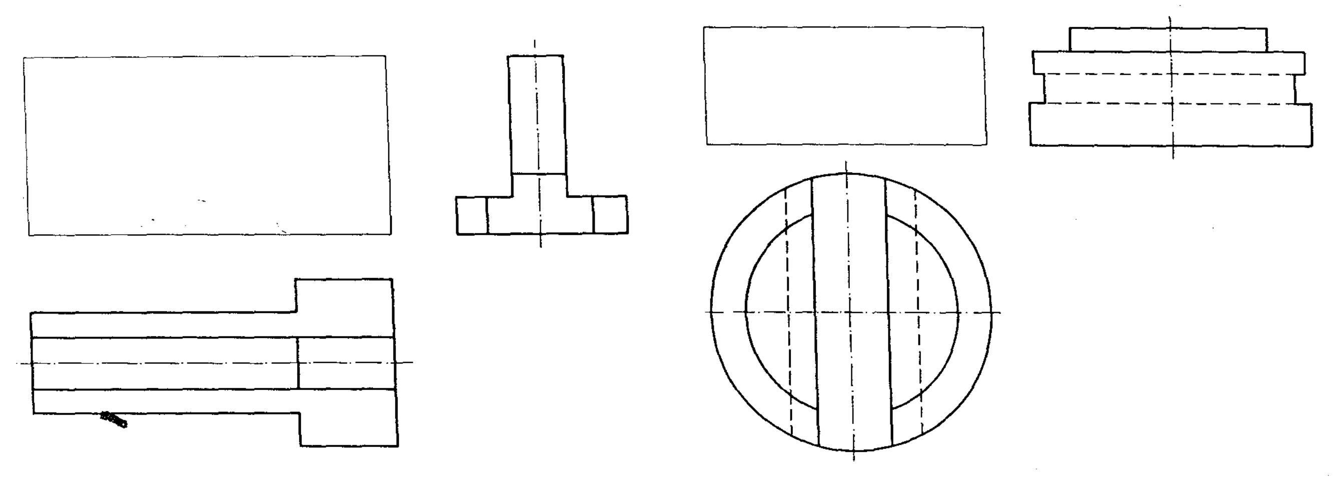


Fig. I, 197. *Dibujar el alzado del objeto del que se dan planta y perfil.*

Fig. I, 200. *Dibujar el alzado del objeto del que se dan planta y perfil.*

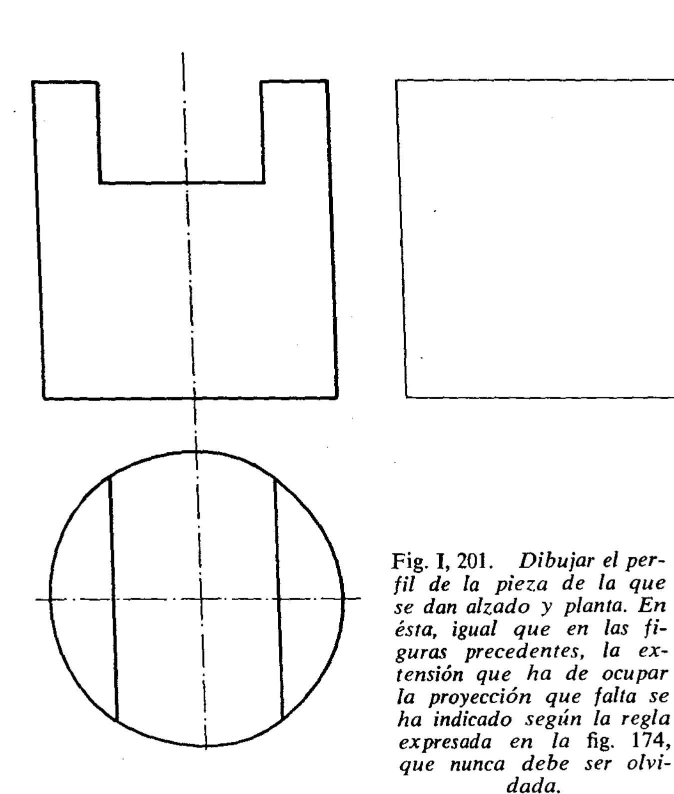


Fig. I, 201. *Dibujar el perfil de la pieza de la que se dan alzado y planta. En ésta, igual que en las figuras precedentes, la extensión que ha de ocupar la proyección que falta se ha indicado según la regla expresada en la fig. 174, que nunca debe ser olvidada.*

siempre y sin ninguna excepción como se ha explicado antes.

Con objeto de facilitar estos primeros ejercicios, en las figuras del n.° 188 al 201 se ha señalado con trazo fino el rectángulo del que hemos hablado.

Aplicando para cada punto (por ejemplo, para cada vértice de la proyección pedida) la construcción fundamental indicada en la figura I, 163, se llegará, sin dificultad, al resultado exacto. Sin embargo, en caso de duda, convendrá consultar las figuras anteriores, especialmente las del I, 165 al I, 173, en las cuales las letras que indican las construcciones relativas a puntos singulares facilitan en gran manera la resolución de los problemas gráficos presentados.

PROYECCIÓN AXONOMÉTRICA

27. Generalidades

El método de representación de un objeto mediante sus tres proyecciones, estudiado en el capítulo anterior, *es sencillo, rápido y no da lugar a confusiones;* se verá más adelante *que permite, además, con gran facilidad la acotación de las piezas,* es decir, la anotación sobre el dibujo de todas las medidas y de *cuantas indicaciones sean indispensables para la fabricación de la pieza;* por estos motivos este método de representación es el adoptado universalmente para los dibujos técnicos. Tiene en contra un inconveniente, que no habrá pasado por alto al que haya estudiado las páginas precedentes: *no da fácilmente una idea clara de la forma real de la pieza.* La imaginación de dicha forma requiere el estudio de las tres proyecciones y un esfuerzo mental tanto más intenso cuanto más complicado sea el objeto representado.

Por esto se han estudiado otros métodos de representación, que dan una visión de conjunto de la pieza, muy semejante a la que da de la misma el ojo humano *proyectando el objeto sobre un solo plano, con rayos que parten de un punto.*

Se pueden dar dos casos distintos, según que el punto desde el que se efectúa la proyección se encuentre **a distancia finita** (es decir, más o menos próximo) *o* **a distancia infinita** (es decir, muy alejado) del objeto. En el primer caso (fig. I, 202) todos los rayos que proyectan el objeto salen divergentes del centro de proyección *O;* se forma sobre un plano α la proyección del objeto; evidentemente, las dimensiones de la proyección serán mayores o menores que las del objeto, según que el plano α esté colocado más allá del objeto, o bien entre el centro de proyección y el objeto (fig. I, 203). *Este método de proyección se llama de* **perspectiva** *(o perspectiva cónica)* y da imágenes semejantes a las que se forman en la retina del ojo del observador; fotografía, por así decirlo, el objeto y es precisamente el método aplicado

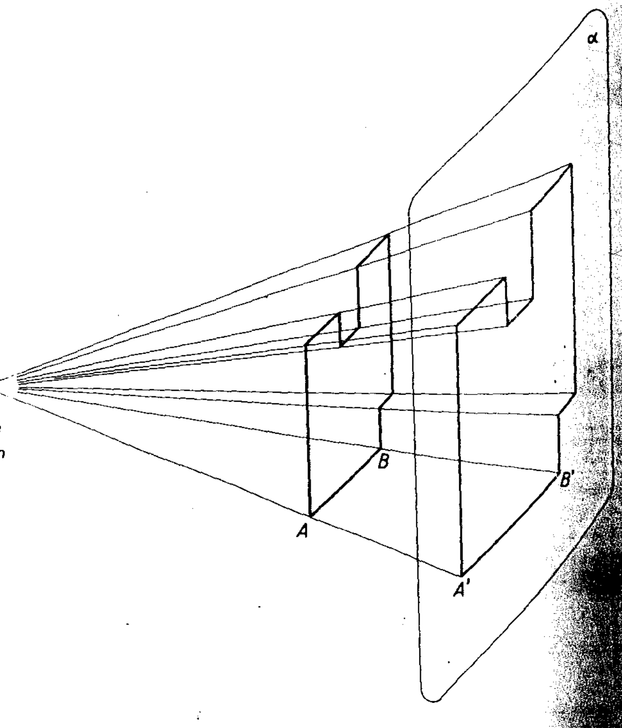


Fig. I, 202. *Proyección central de una figura sobre un plano (perspectiva).*

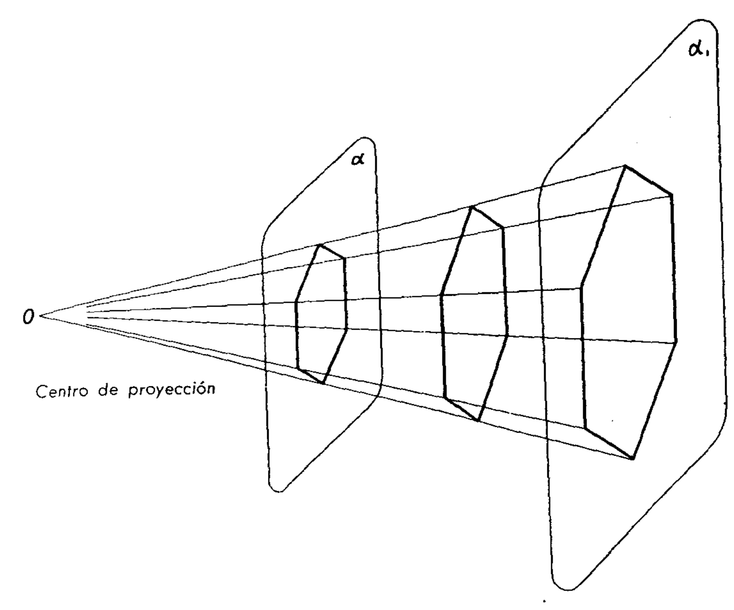


Fig. I, 203. *La proyección central de una figura sobre un plano puede ser de dimensiones mayores o menores que la figura dada, según que el plano esté situado detrás de la figura proyectada, con respecto al centro de proyección, o bien entre dicho centro y la figura.*

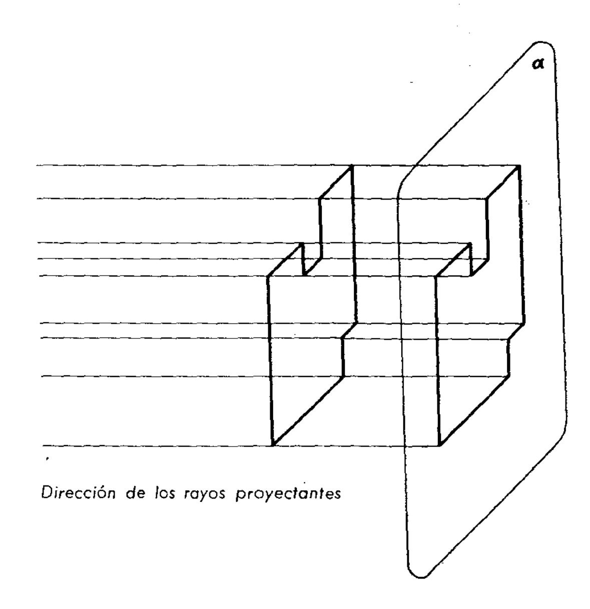


Fig. I, 204. *Cuando el centro de proyección se aleja infinitamente del plano, los rayos proyectantes resultan paralelos. Las proyecciones de este tipo constituyen la axonometría.*

en la pintura y la fotografía; *pero no se aplica nunca al dibujo técnico, especialmente porque es imposible, o por lo menos dificilísimo, deducir de proyecciones de este tipo las verdaderas medidas del objeto.*

El segundo método se denomina genéricamente **axonometría,** *y se deriva del primero cuando el centro de proyección se aleja infinitamente del objeto y del plano de proyección.* En este caso, evidentemente, *los rayos proyectantes resultan* **paralelos** (fig. I, 204).

28. Consideraciones fundamentales sobre la axonometría

Observemos lo que ocurre cuando se efectúa la proyección oblicua de un segmento sobre un plano. Consideremos dos casos:

1.er caso: **El segmento es paralelo al plano de proyección** (fig. I, 205). Se ve inmediatamente que, cualquiera que sea la dirección de los rayos proyectantes, *el segmento y su proyección tienen la misma longitud.*

2.º caso: **El segmento no es paralelo al plano;** se ve (fig. I, 206) que, *según sea la posición del segmento con respecto al plano y la dirección de los rayos proyectantes, la proyección tendrá una longitud menor, igual o mayor que la del segmento dado.* En la figura I, 208 se observa, además, que **para una dirección dada de los rayos proyectantes, la relación entre la longitud de la proyección y la longitud real del segmento proyectado permanece constante,** *cuando los segmentos proyectados forman el mismo ángulo*

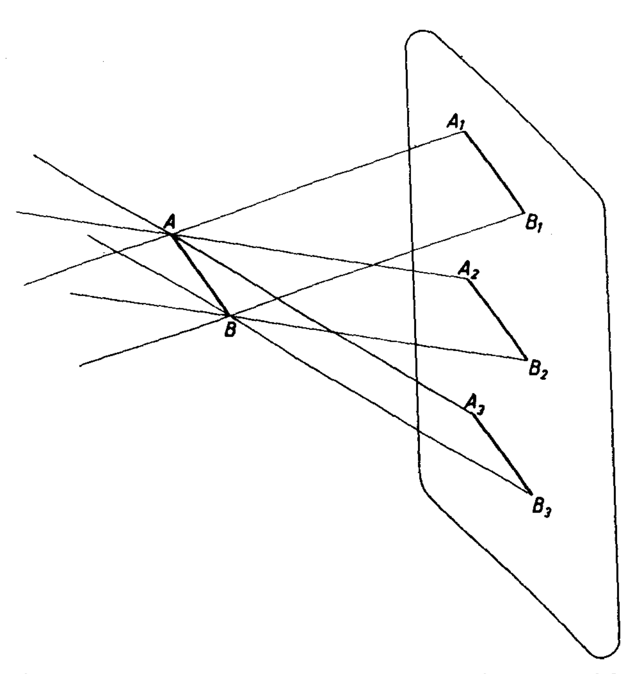


Fig. I, 205. *Cuando el segmento proyectado es paralelo al plano, su proyección tiene la misma longitud que el segmento dado, cualquiera que sea la dirección de los rayos proyectantes.*

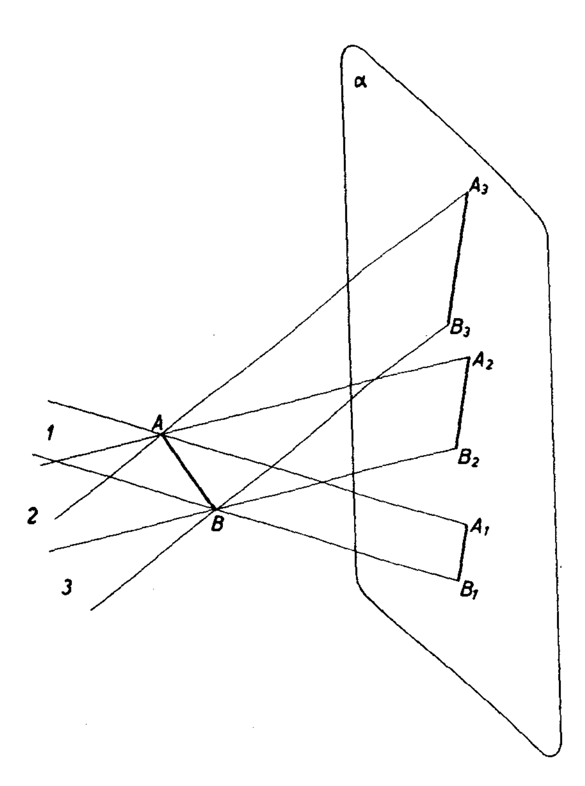


Fig. I, 206. *Si, en cambio, el segmento proyectado no es paralelo al plano, según sea la dirección de los rayos proyectantes, la proyección puede resultar mayor, igual o menor que el segmento dado.*

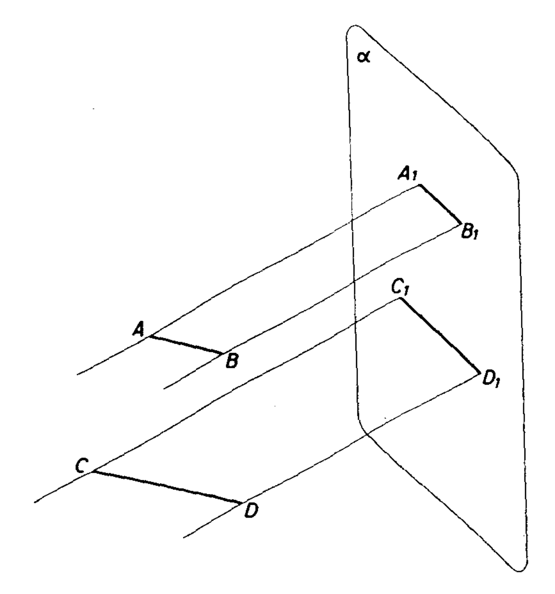


Fig. I, 207. *En el caso de dos segmentos paralelos* AB *y* CD, *con una inclinación cualquiera respecto al plano de proyección, para una dirección dada de los rayos proyectantes se verifica que sus proyecciones son proporcionales a las longitudes respectivas; es decir, en el caso de la figura:* $AB : A_1B_1 = CD : C_1D_1$.

con el plano de proyección, es decir, son paralelos entre sí. Esta relación que, repetimos, *es constante para una dirección dada de los rayos proyectantes y del segmento proyectado respecto al plano de proyección, se denomina* **escala de reducción.**

Expuestas estas consideraciones, *indispensables para la comprensión de las proyecciones axonométricas,* tratemos de representar, p. e., un paralelepípedo. Se pueden dar dos casos principales:

a) **El paralelepípedo tiene una cara paralela al plano de proyección** (o sea a la hoja del dibujo); en este caso, teniendo presente cuanto se ha dicho antes (caso 1°), se comprende que *la cara paralela al plano de proyección da lugar a una proyección igual a la misma cara* (o sea un rectángulo); *las otras aristas,* **paralelas todas ellas entre sí,** *darán proyecciones* **que tendrán todas la misma escala de reducción.** Si el ángulo que forman los rayos proyectantes con el plano de proyección es de 30°, esta reducción es aproxima-

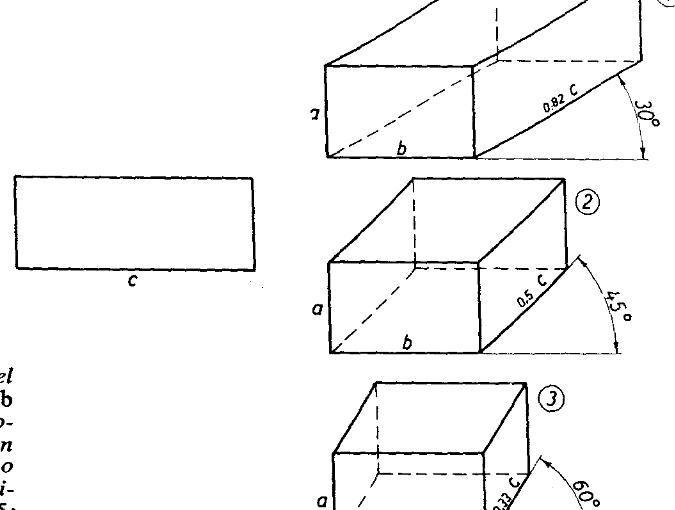


Fig. I, 208. Perspectiva caballera. *El paralelepípedo, del que se dan alzado y perfil, tiene la cara de lados* a *y* b *paralela al plano de proyección. Por tanto, esta cara se proyecta igual a la misma; el lado* c *experimenta una reducción variable según la dirección de los rayos proyectantes, como indica la figura. Para 30° la relación de reducción es aproximadamente de 0,82; para 45° es aproximadamente de 0,5; para 60° es aproximadamente de 0,33*

damente de 0,82; si el ángulo es de 45°, esta reducción es de 1/2; finalmente, si el ángulo es de 60°, la reducción es aproximadamente de 0,33, por lo que la axonometría del paralelepípedo se presentará en los tres casos como indica la figura I, 208, 1) 2) 3).

A este tipo de axonometría se le da el nombre de **perspectiva caballera.**

En la figura I, 209 se han representado las perspectivas caballeras de un cilindro, del que se dan las proyecciones ortogonales, según las diferentes inclinaciones antes consideradas para los rayos proyectantes. También en estas proyecciones se acostumbra dibujar punteadas, para mayor claridad, las líneas que resultan invisibles.

Examinando las figuras I, 208 y 209, se ve que **este tipo de proyección da inmediatamente una idea clara de la forma real del objeto que representa.** Sin embargo, la primera de las proyecciones (30°) hace parecer el objeto demasiado alargado; la tercera (60°) lo representa demasiado corto; *en conjunto, la segunda* (45°) *es la que mejor agrada a la vista* y es la que debe usarse según las últimas normas, de las que se tratará más adelante.

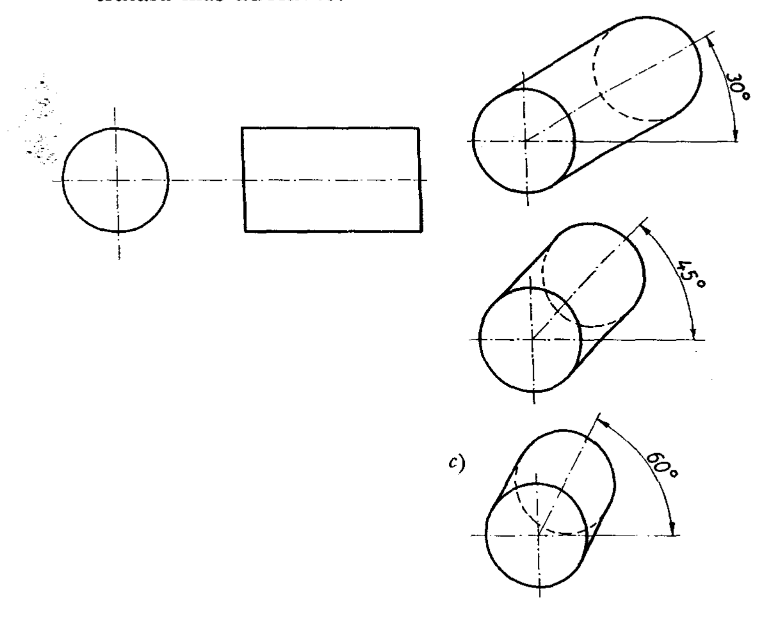


Fig. I, 209. *Perspectiva caballera de un cilindro del que se dan alzado y perfil.* a) *a 30°;* b) *a 45°;* c) *a 60°. Los coeficientes de reducción son los mismos indicados para la* figura n.° 208.

b) **El paralelepípedo no tiene cara alguna paralela al plano de proyección.**

Para examinar este importante caso, imaginemos que el paralelepípedo sea un cubo y se colocan tres planos α, β, γ, coincidiendo con tres caras de dicho cubo, teniendo un vértice común *O*; se considera pues, el triedro rectángulo indicado esquemáticamente con *xyz* en la figura I, 210.

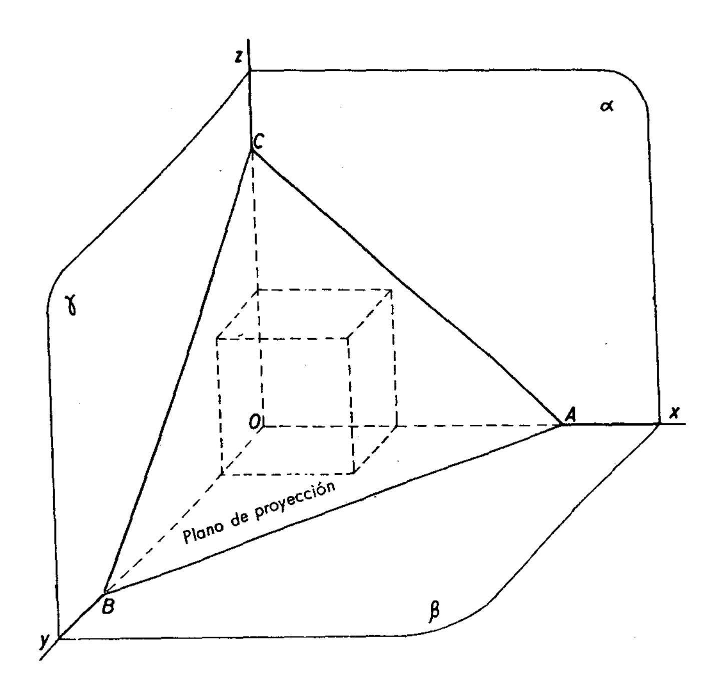


Fig. I, 210. *Debiéndose proyectar sobre un plano un cubo, se considera el triedro formado por los planos* α, β, γ; *el plano de proyección corta las tres aristas del triedro* x, y, z *en tres puntos* A, B, C.

El plano de proyección, *colocado en una posición cualquiera,* **corta las tres aristas del triedro en los puntos A, B, C;** *determinando sobre las tres aristas del triedro los tres segmentos* **OA, OB, OC** (fig. I, 210).

Sobre este plano se proyectan, con rayos perpendiculares al mismo, el cubo y cuantos objetos se consideren.

29. Las diferentes axonometrías

Se pueden considerar *diferentes casos,* según que los segmentos *OA, OB, OC sean iguales o diferentes,* lo cual depende de la *inclinación del plano de proyección con respecto al triedro.*

1.°) **Proyección isométrica.** *Los tres segmentos* **OA, OB, OC** *son iguales entre sí. Las tres aristas del triedro considerado, proyectadas sobre el plano, darán tres semirrectas formando entre sí ángulos de 120°* (fig. I, 211). *Estas tres semirrectas se llaman* **ejes de la proyección.**

El cubo de la proyección indicada en la figura I, 212. Se verifica que *todas las aristas sufren idéntica reducción;* por lo tanto, en la representación del cubo resultan *todas de la misma longitud;* pero *los ángulos rectos se proyectan en ángulos de 120° o de 60°, según su posición;* de ahí que el objeto, en conjunto, aparece muy deformado.

Por la propiedad de tener la misma reducción para todos los ejes, esta proyección se denomina **isométrica.** Tiene la ventaja de su ejecución sencilla, y pa-

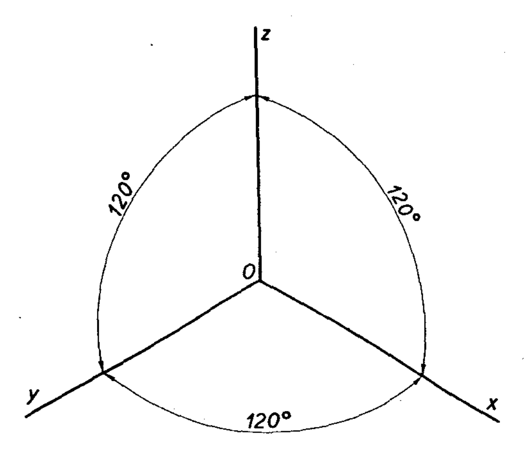


Fig. I, 211. *Si el plano determina sobre los tres ejes tres segmentos* AO = BO = CO, *se tiene la proyección* **isométrica;** *las tres aristas, proyectadas sobre el plano, dan tres semirrectas* ox, oy, oz *que forman entre sí ángulos de 120°. En la práctica, para satisfacer mejor a la vista, los tres ángulos no se dibujan iguales, como se verá en seguida.*

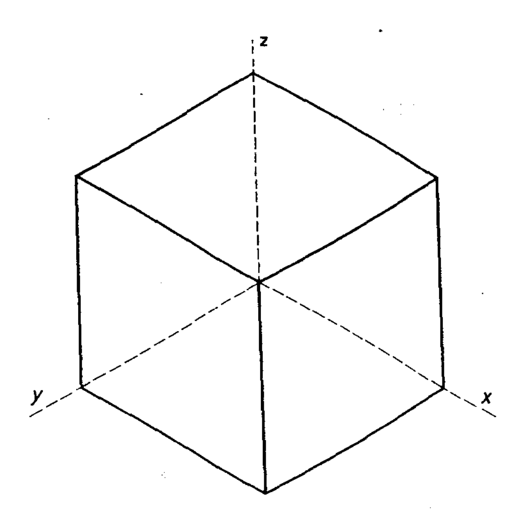


Fig. I, 212. *Proyección isométrica de un cubo. Todos los lados experimentan la misma reducción; pero los ángulos rectos, según sea su posición, pueden dar en proyección ángulos obtusos o ángulos agudos. Por esto esta proyección, empleada con bastante frecuencia por su facilidad de ejecución, resulta siempre poco satisfactoria a la vista.*

rece que por lo mismo podría usarse con frecuencia, pero en cambio su aspecto es poco satisfactorio. No obstante, aun en las más recientes normas de unificación se ha previsto su uso, principalmente por su facilidad de ejecución.

2.°) **Proyección bimétrica.** En esta axonometría, *las reducciones según dos ejes son iguales; la tercera es diferente;* el resultado es una proyección que satisface mejor a la vista; su ejecución no es tan fácil como la anterior.

Según sea la orientación del plano del dibujo con respecto al triedro fundamental, resultan, en la proyección de dicho triedro sobre el plano, ángulos diferentes y como consecuencia diferentes coeficientes de reducción. Entre las diversas combinaciones, se han indicado dos, escogidas entre las más corrientes (figuras I, 213 y 214) (los valores de los ángulos redondeados en grados).

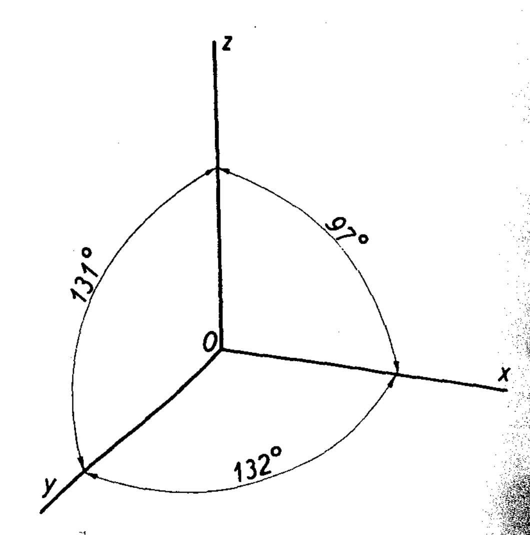


Fig. I, 213.

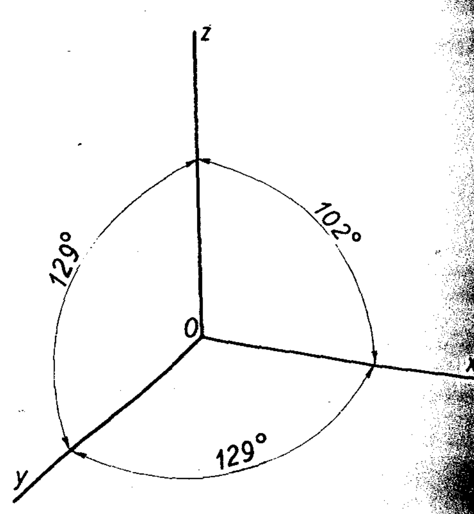


Fig. I, 214.

Figs. I, 213 y 214. *Si el plano determina al cortar los ejes dos segmentos iguales, diferentes del tercero, se la proyección* **bimétrica.** *Dos de estas proyecciones seg tres ejes, experimentan idéntica reducción; la tercera reducción distinta. En estas figuras se reproducen d las combinaciones más usadas: pero sólo la primera emplearse para los dibujos técnicos mecánicos, seg normas vigentes.*

$x\hat{O}y$	$y\hat{O}z$	$z\hat{O}x$	Reducciones según los ejes SSI		
			x	y	z
132°	131°	99°	1	1/2	1
129°	129°	102°	1	2/3	1

Según las últimas normas, como ya se ha indicado, la combinación que se debe emplear en los dibujos técnicos mecánicos es la primera (fig. I, 213).

En las figuras I, 215 y 216 se representan las proyecciones de un cubo con 10 cm de lado, en los dos casos considerados.

3.°) **Proyección trimétrica.** Las reducciones son diferentes para los tres ejes. Generalmente es poco usada esta proyección y no se emplea jamás en dibujos técnicos; por esto es suficiente señalar su existencia.

Resumiendo: *en el dibujo técnico mecánico, cuando se quiera,* siguiendo la costumbre ya extendida en América, *representar piezas mecánicas en axonometría,* conviene limitarse a la perspectiva caballera o a la proyección isométrica.

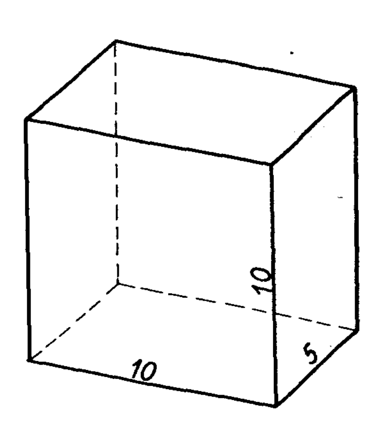


Fig. I, 215

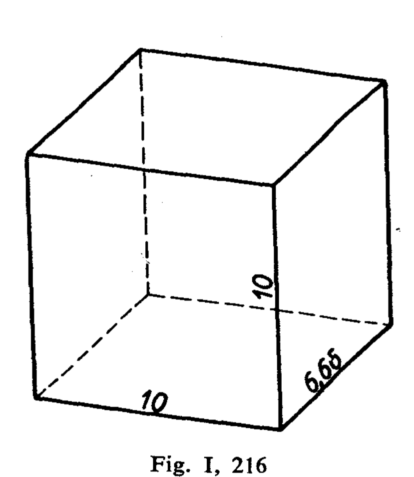


Fig. I, 216

Figs. I, 215 y 216. *Reproducen las proyecciones bimétricas, en los dos casos considerados en las figuras anteriores, de un cubo de 10 cm de lado.*

30. Aplicaciones

En las figuras I, 217-220 se indican algunas aplicaciones de perspectiva caballera a figuras planas sencillas o a sólidos geométricos. En las figuras 221-232 se representan varias figuras geométricas y algunos sólidos en proyección isométrica. Para trazar las proyecciones de una pieza de cualquier forma y en una cualquiera de las axonometrías estudiadas, se imagina cada parte de la pieza incluida en un paralelepípedo, cuya proyección se construye fácilmente según las reglas antedichas (figs. I, 223-235). Con este sistema, se tiene la posibilidad de trazar con suficiente rapidez la representación de cualquier pieza por complicada que sea.

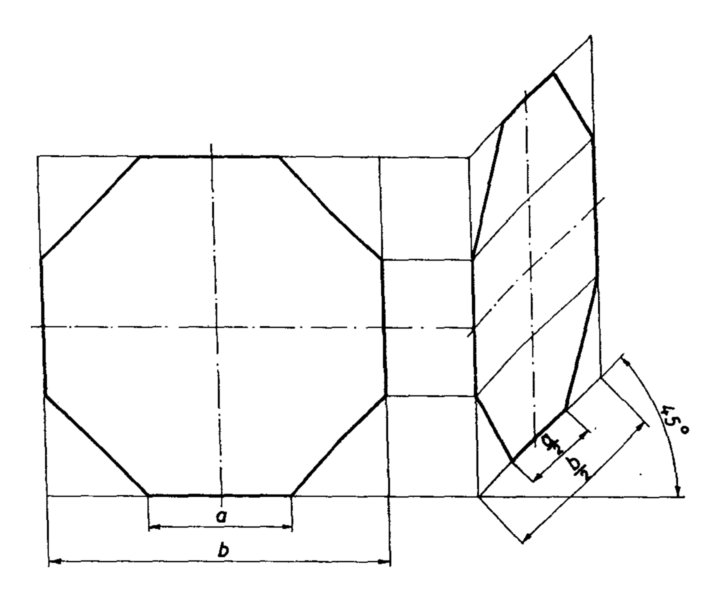


Fig. I, 217. *Perspectiva caballera de un octágono regular.*

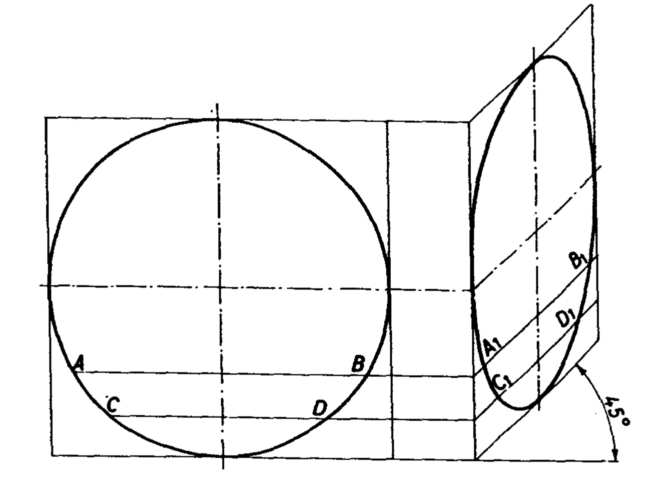


Fig. I, 218. *Perspectiva caballera de una circunferencia. El dibujo se efectúa uniendo puntos determinados y trazando los segmentos correspondientes, a 45°, con relación de reducción de 0,5.*

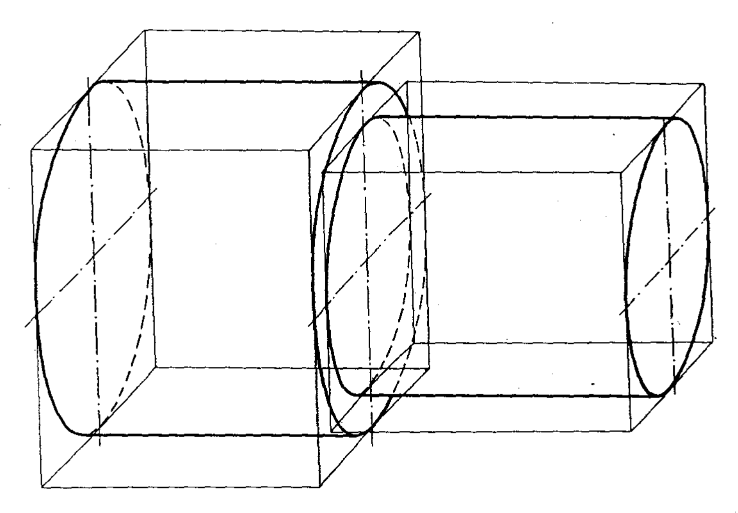


Fig. I, 219. *Perspectiva caballera de una pieza cilíndrica, con prolongación cilíndrica.*

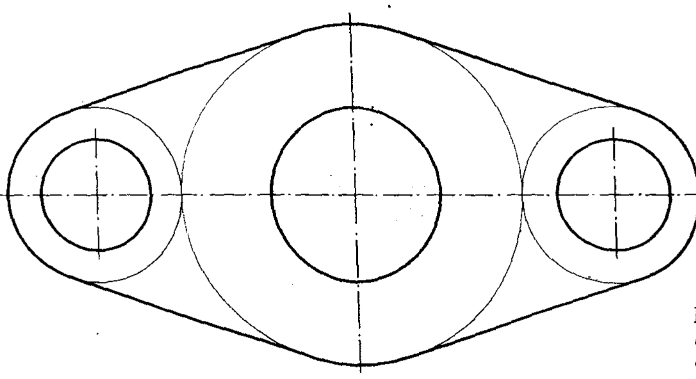


Fig. I, 220 *a*.

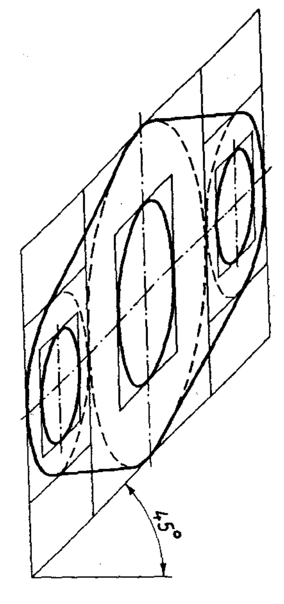


Fig. I, 220 *b*.

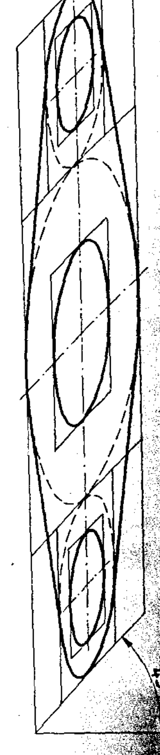


Fig. I, 220

Fig. I, 220. *Representación de la pieza* a *en perspectiva caballera, colocándola con la dimensión mayor horizontal* b) *o vertical* c). *Resulta evidente que, colocando la pieza horizontalmente, parece más ancha y achatada; mientras que si se coloca verticalmente parece más larga y estrecha.*

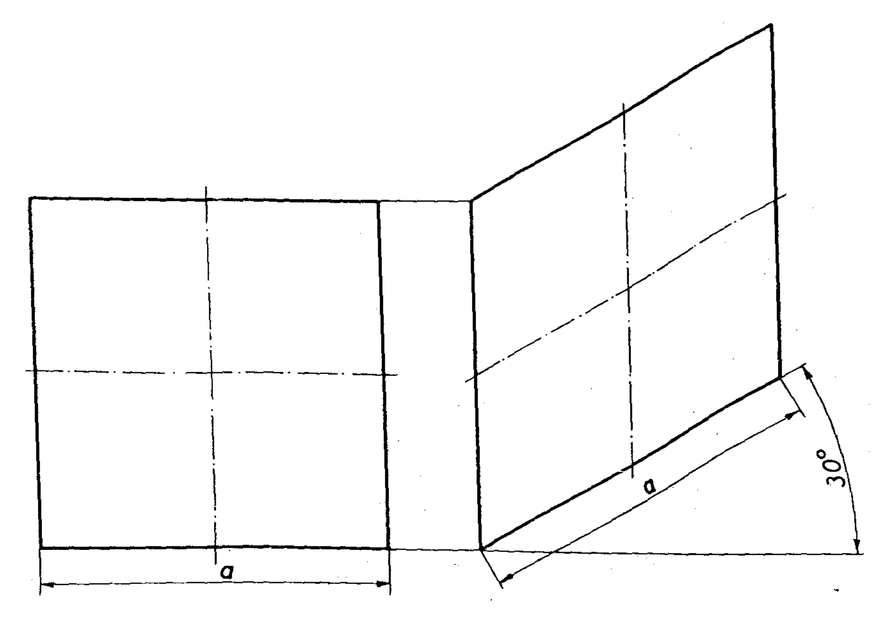


Fig. I, 221. *Proyección isométrica* ... *cuadrado.*

Fig. I, 224.

Fig. I, 222. *Proyección isométrica de un triángulo.*

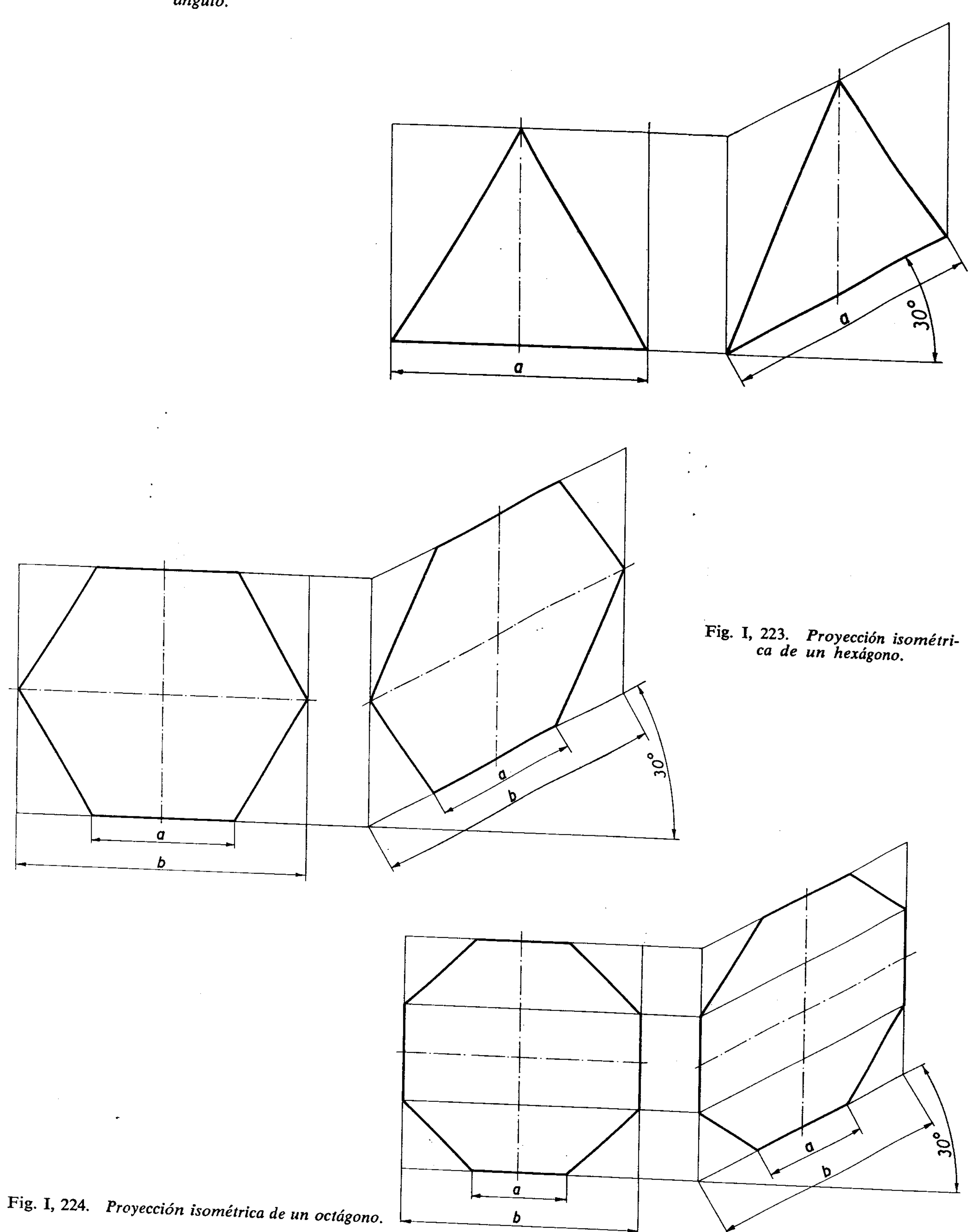


Fig. I, 223. *Proyección isométrica de un hexágono.*

Fig. I, 224. *Proyección isométrica de un octágono.*

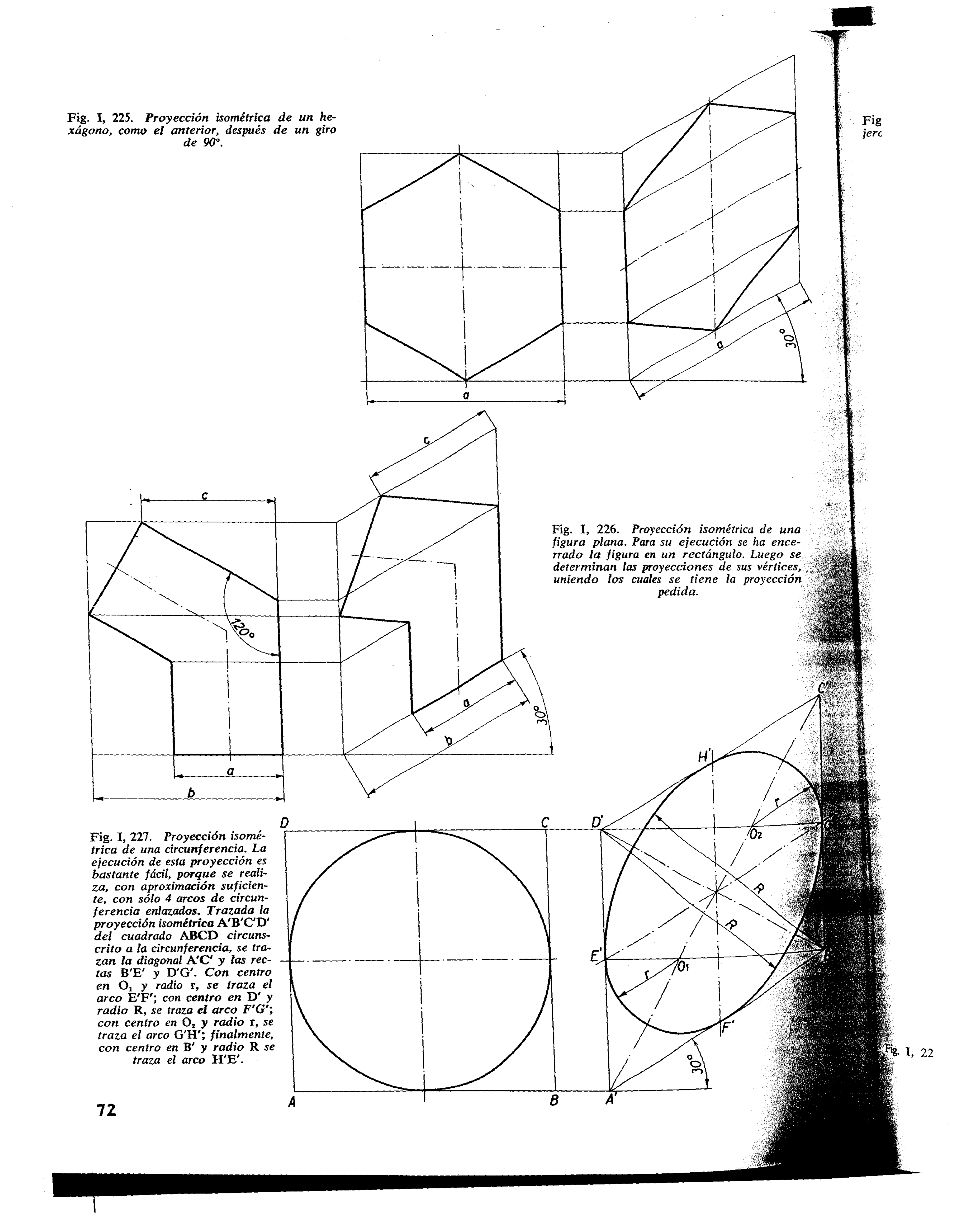
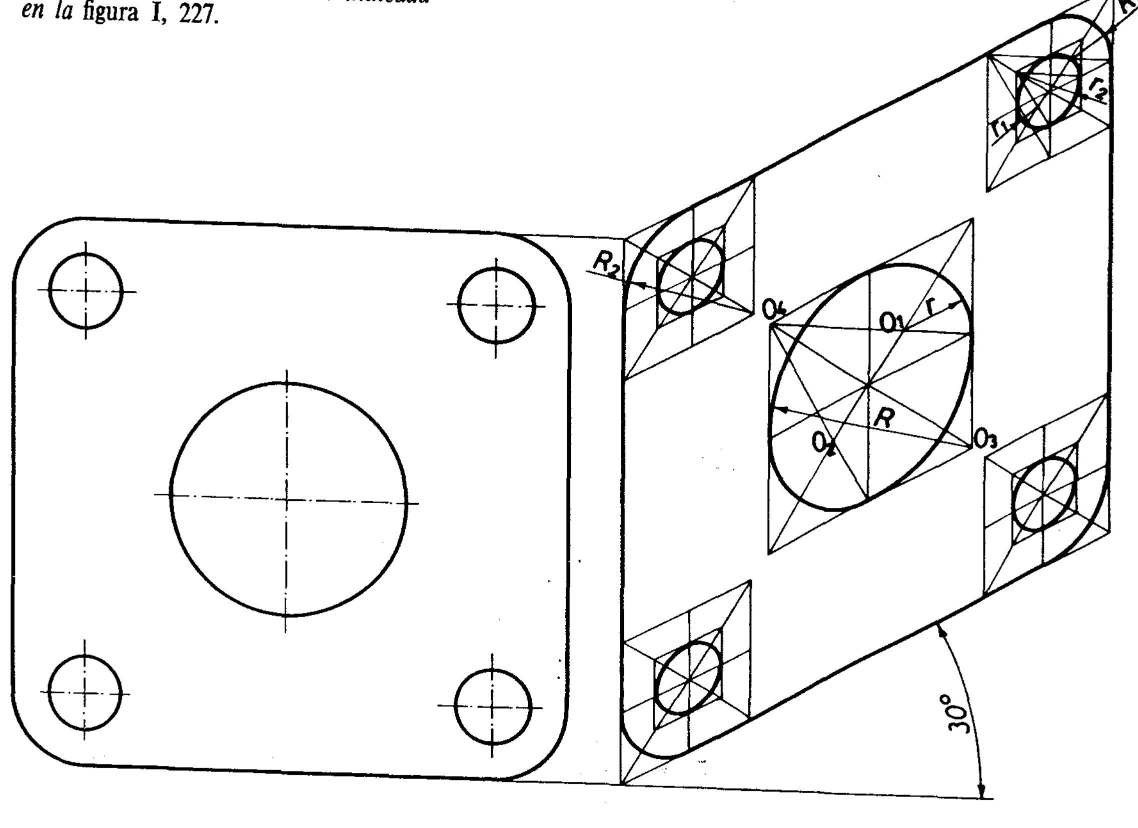


Fig. I, 225. *Proyección isométrica de un hexágono, como el anterior, después de un giro de 90°.*

Fig. I, 226. *Proyección isométrica de una figura plana. Para su ejecución se ha encerrado la figura en un rectángulo. Luego se determinan las proyecciones de sus vértices, uniendo los cuales se tiene la proyección pedida.*

Fig. I, 227. *Proyección isométrica de una circunferencia. La ejecución de esta proyección es bastante fácil, porque se realiza, con aproximación suficiente, con sólo 4 arcos de circunferencia enlazados. Trazada la proyección isométrica* A'B'C'D' *del cuadrado* ABCD *circunscrito a la circunferencia, se trazan la diagonal* A'C' *y las rectas* B'E' *y* D'G'. *Con centro en* O_1 *y radio* r, *se traza el arco* E'F'; *con centro en* D' *y radio* R, *se traza el arco* F'G'; *con centro en* O_2 *y radio* r, *se traza el arco* G'H'; *finalmente, con centro en* B' *y radio* R *se traza el arco* H'E'.

Fig. I, 228. *Proyección isométrica de una placa con 4 agujeros. Para cada agujero se repite la construcción indicada en la* figura I, 227.



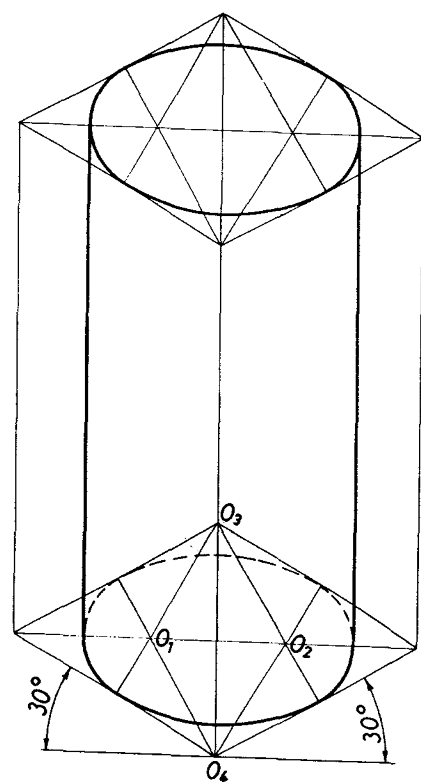


Fig. I, 229. *Proyección isométrica de un cilindro.*

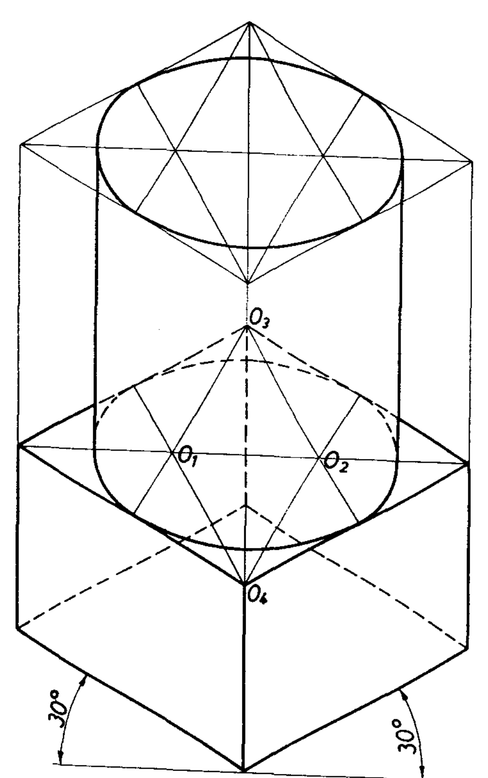


Fig. I, 230. *Proyección isométrica de un sólido formado por un paralelepípedo de base cuadrada, con un cilindro superpuesto.*

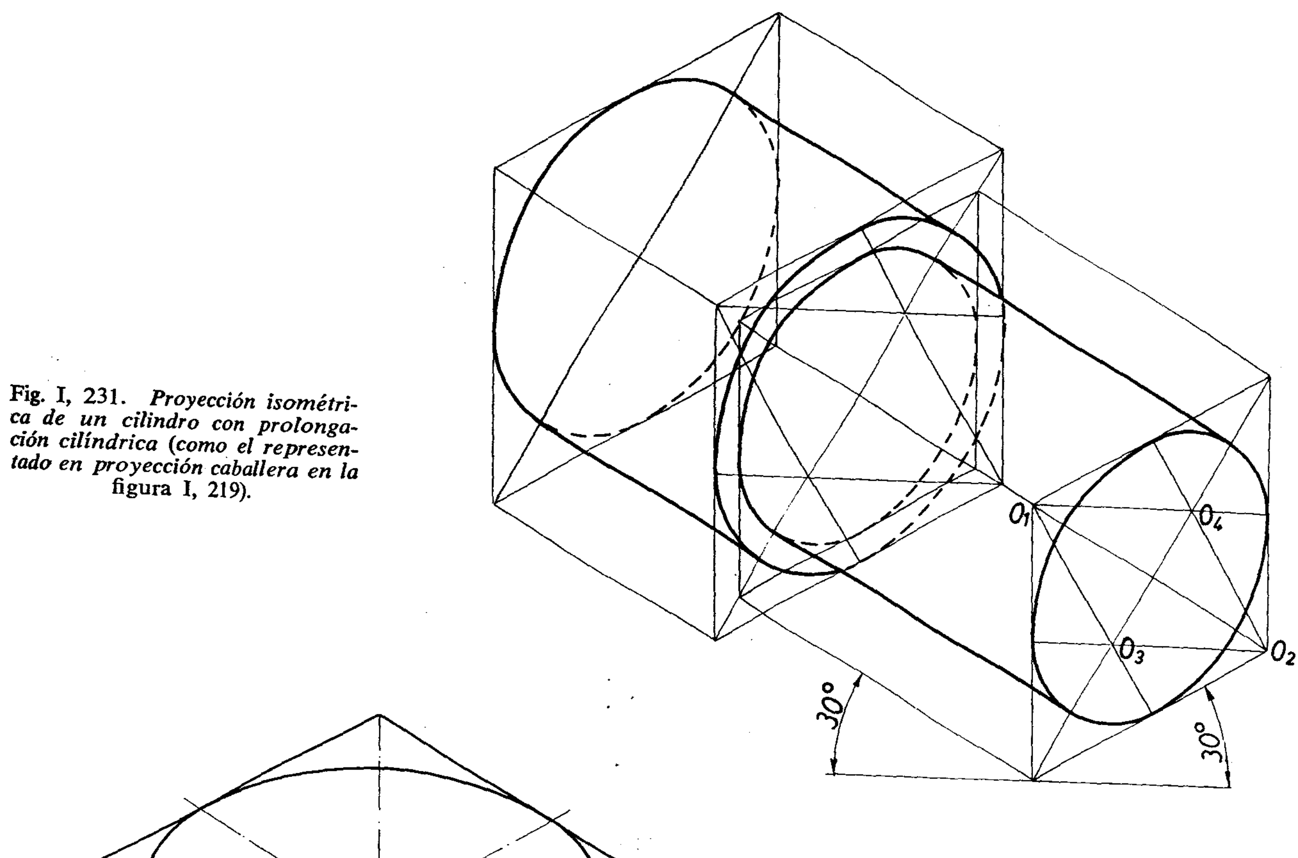


Fig. I, 231. *Proyección isométrica de un cilindro con prolongación cilíndrica (como el representado en proyección caballera en la* figura I, 219).

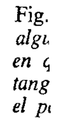


Fig. I, 232. *Proyección isométrica de un cubo, con circunferencias inscritas en sus caras. Este ejercicio es una repetición en diferentes posiciones de la construcción expuesta en la* figura I, 227.

En las figuras que siguen (figs. I, 236-239) se representan, mediante las tres proyecciones *(a, b, c)*, cuatro piezas mecánicas; de ellas se han deducido la perspectiva caballera *(d)* y la isométrica *(e)*.

En la figura I, 240 se ha representado finalmente otra pieza mecánica con sus proyecciones ortogonales. En la figura múltiple I, 241, se ha representado la misma pieza en perspectiva caballera en numerosas

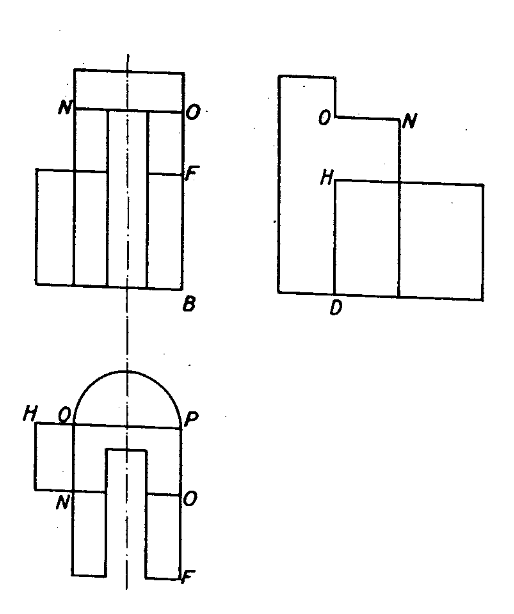


Fig. I, 233 *a*.

Fig. I, 233 *b*.

Fig. I, 233. *Proyección caballera de un grupo de sólidos del cual se dan las tres proyecciones. Se han indicado con letras algunos vértices del sólido. La axonometría se obtiene aplicando las reglas acostumbradas a cada uno de los paralelepípedos en que se puede suponer descompuesto el grupo; las partes con superficies curvas se suponen incluidas en un paralelepípedo tangente a las superficies curvas. Como ejemplo, la parte delantera inferior del grupo de sólidos se puede suponer incluida en el paralelepípedo* ABCDEFG. *En la figura se distingue, en fin, con toda claridad el paralelepípedo que encierra el semicilindro que alcanza la altura máxima del grupo: su anchura es* PO, *igual al diámetro del cilindro.*

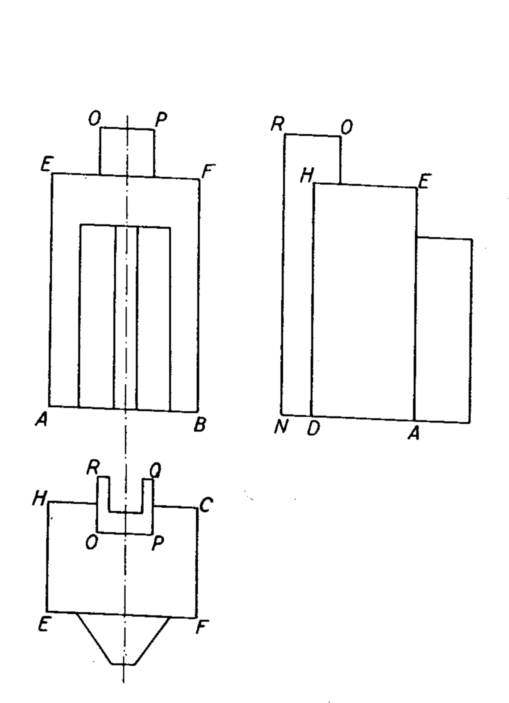


Fig. I, 234 *a*.

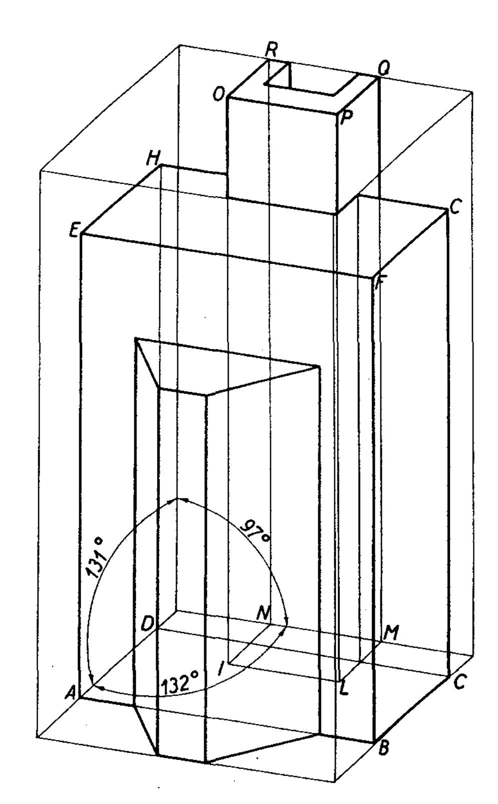


Fig. I, 234 *b*.

Fig. I, 234. *Representación en axonometría bimétrica de un grupo de sólidos, del que se dan las tres proyecciones. Aquí también, para facilitar el dibujo, se han señalado con letras algunos puntos y vértices escogidos convenientemente.*

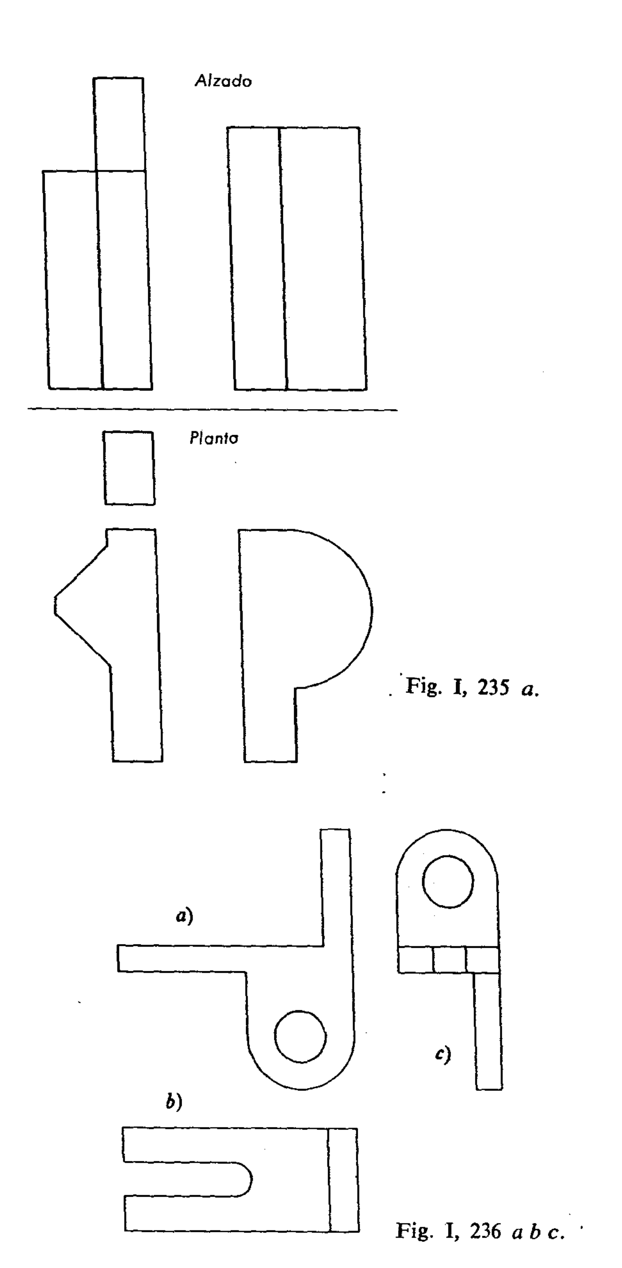


Fig. I, 235 *a*.

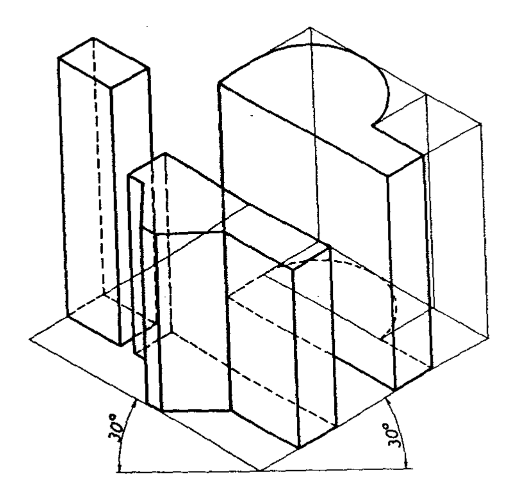


Fig. I, 235 *b*.

Fig. I, 235. *Representación en proyección isométrica de un grupo de sólidos, del cual se dan la planta y el alzado. Se sigue, como siempre, el criterio de descomponer el grupo en paralelepípedos y de inscribir los sólidos de superficie curva en un paralelepípedo.*

Fig. I, 236 *a b c*.

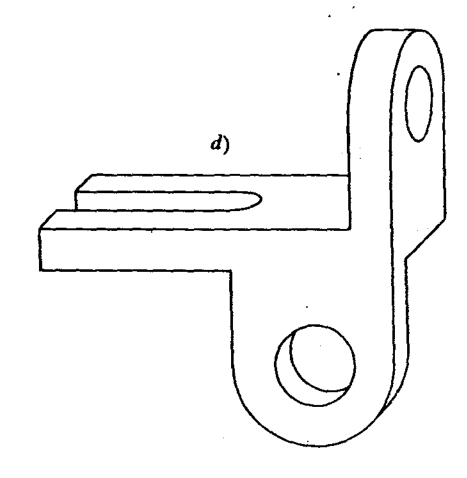


Fig. I, 236 *d*.

Fig. I, 236. *Ejecución de la perspectiva caballera de la piez... representada con sus tres proyecciones* a, b, c.

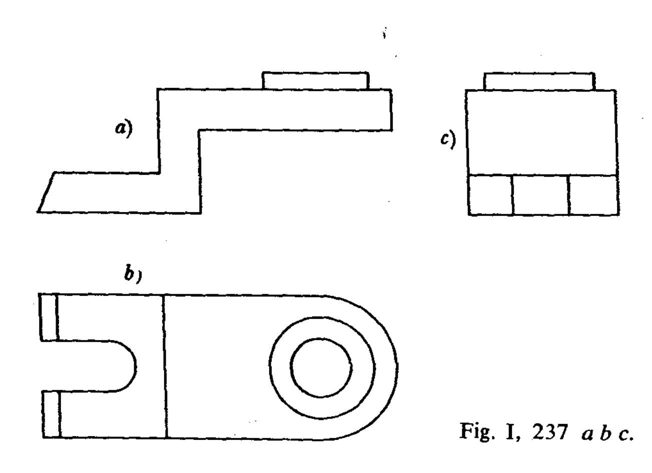


Fig. I, 237 *a b c*.

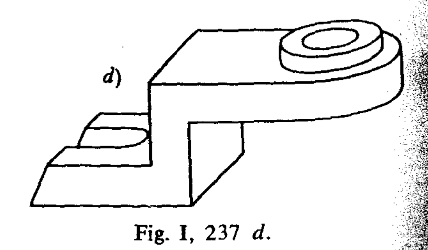


Fig. I, 237 *d*.

Fig. I, 237. *Ejecución de la perspectiva caballera de la ... de la que se dan las tres proyecciones ortogonales...*

Fig. I, 238. *Ejecución de la perspectiva caballera de la pieza de la que se dan las tres proyecciones ortogonales* a, b, c.

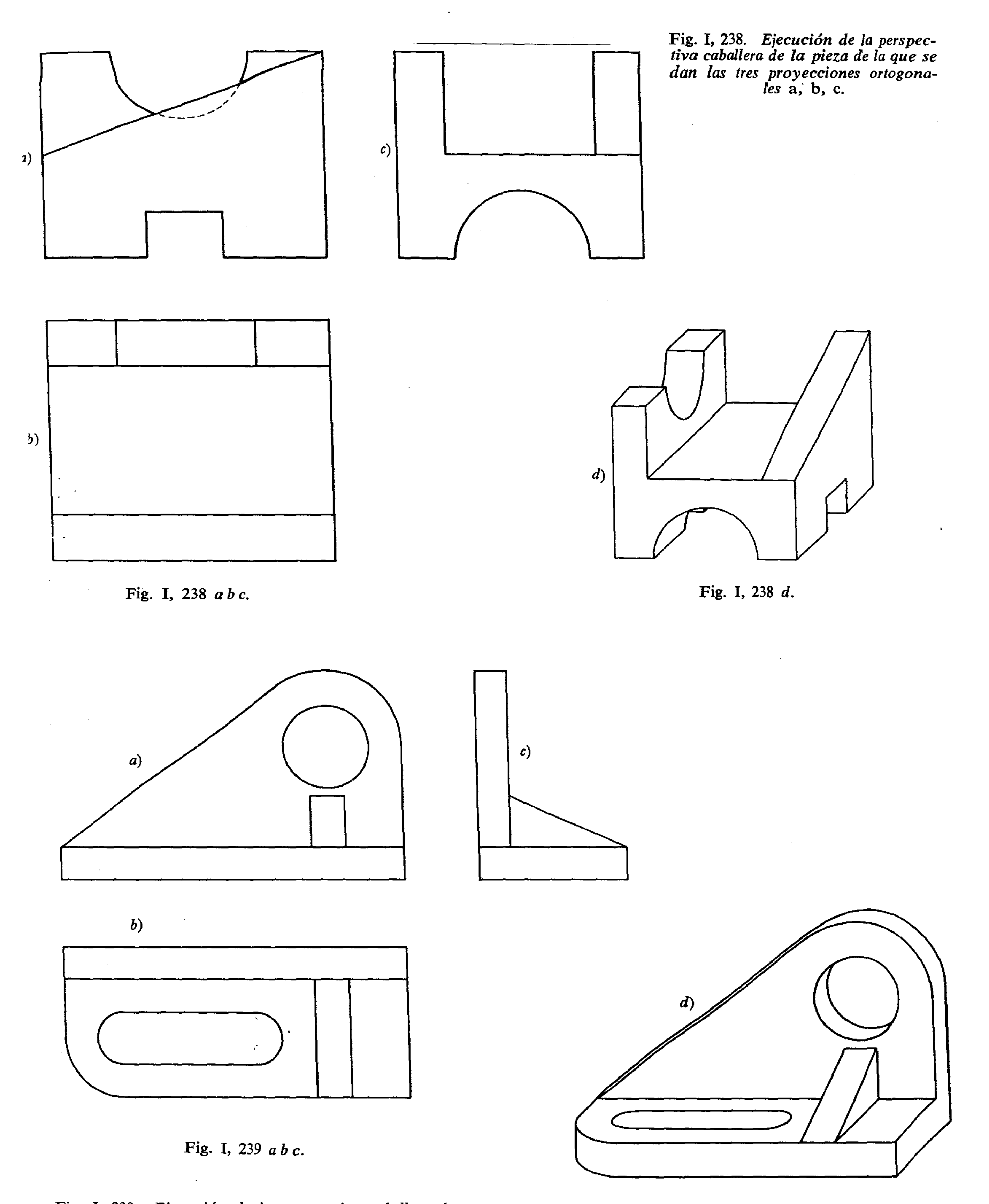


Fig. I, 238 *a b c.*

Fig. I, 238 *d.*

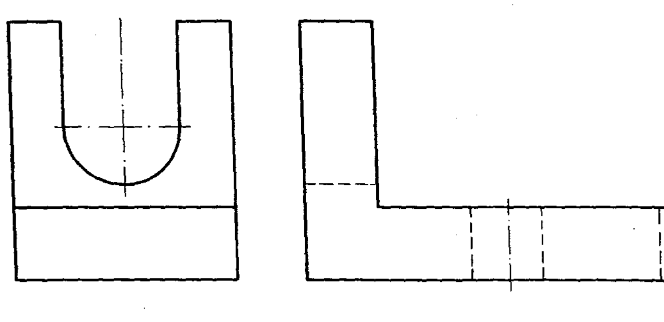
Fig. I, 239 *a b c.*

Fig. I, 239. *Ejecución de la perspectiva caballera de una pieza de la cual se dan las tres vistas.*

Fig. I, 239 *d.*

posiciones distintas, todas igualmente sencillas. *De las mismas conviene sin embargo escoger una de entre las que resultan más expresivas,* p. e., una entre las *a, f, l.*

Al tratar de las secciones y acotaciones de las piezas, se verán otros ejemplos de representaciones.



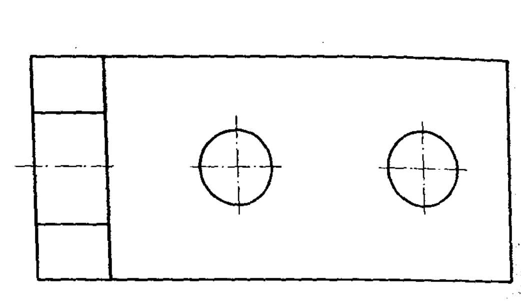


Fig. I, 240. *Representación mediante las tres vistas de una pieza mecánica sencilla; esta pieza se ha de representar en perspectiva caballera, en diferentes posiciones, para comprobar cuáles de dichas posiciones son las más convenientes para la representación.*

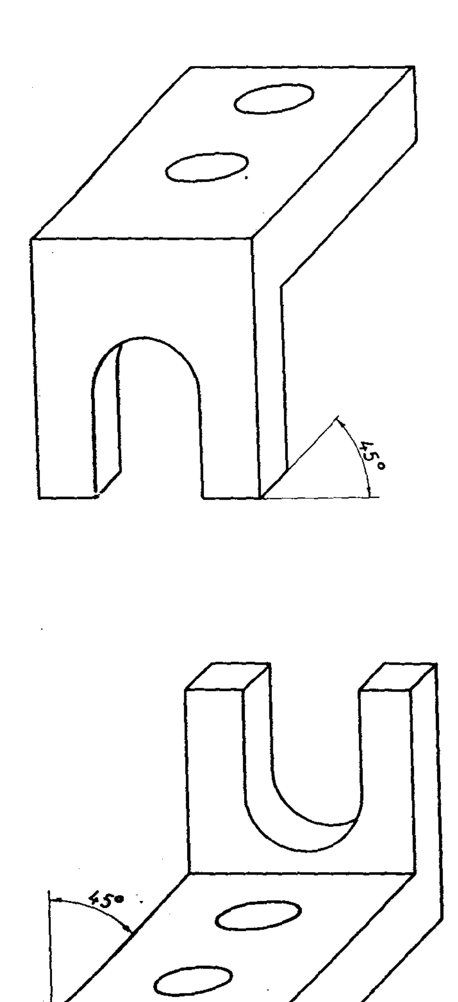


Fig. I, 241. *El objeto representado mediante las tres vistas en la* figura I, 240 *se representa en esta figura en diez posiciones diferentes en perspectiva caballera. Conviene escoger entre ellas las que aparecen más sencillas y expresivas, por ejemplo,* a, f. l. *En esta página se ven cuatro de estas representaciones.*

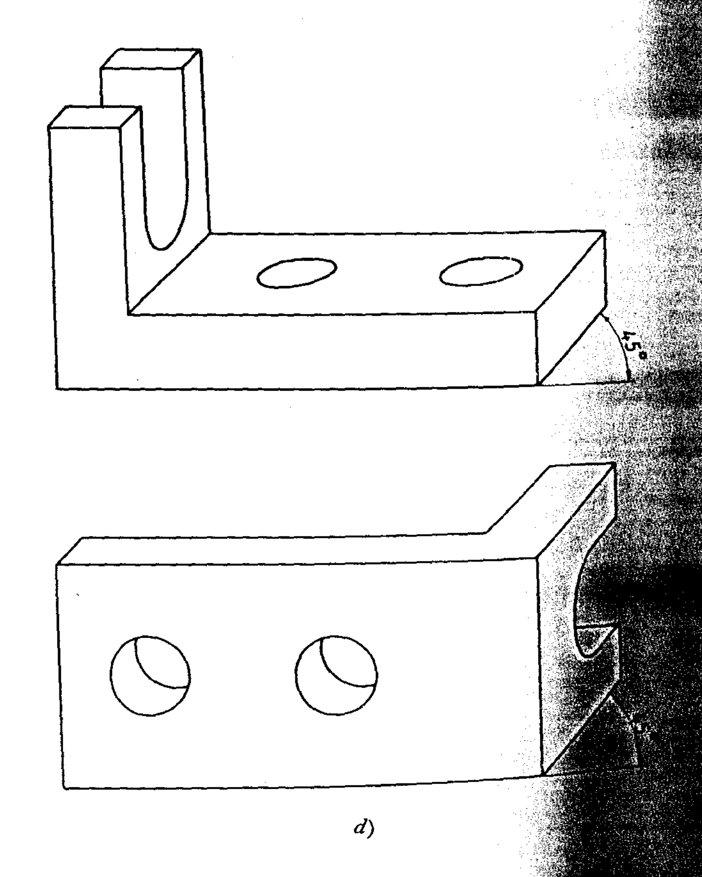
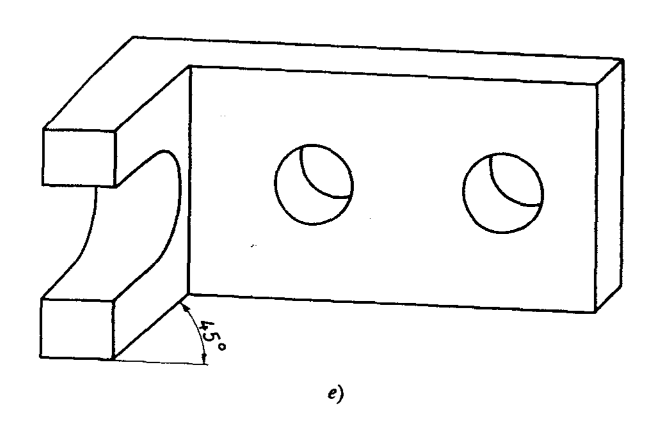
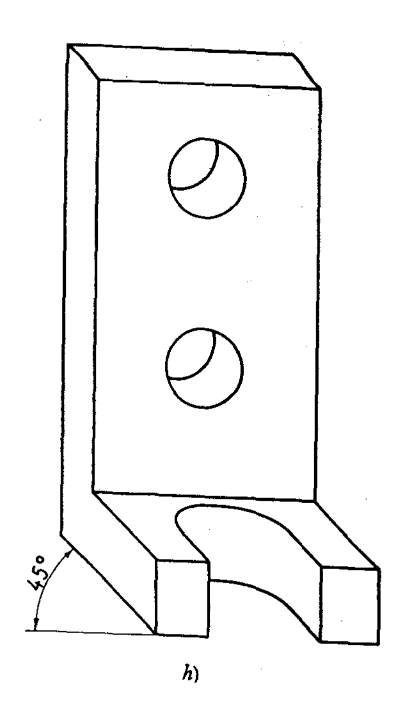


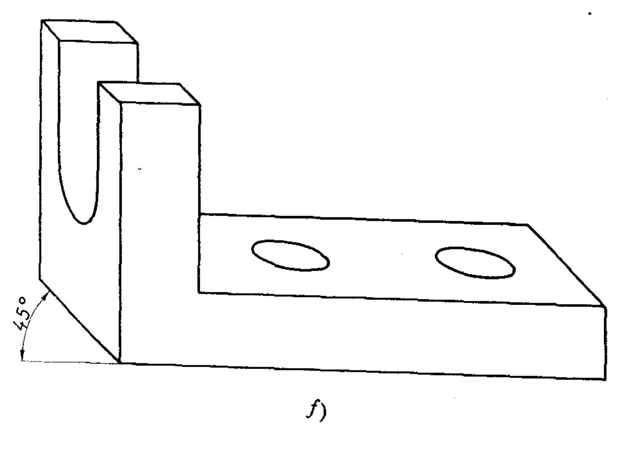
Fig. I, 241 *(continuación). He aquí las otras seis axonometrías del objeto considerado. Se ve fácilmente que unas son más representativas que otras.*



e)



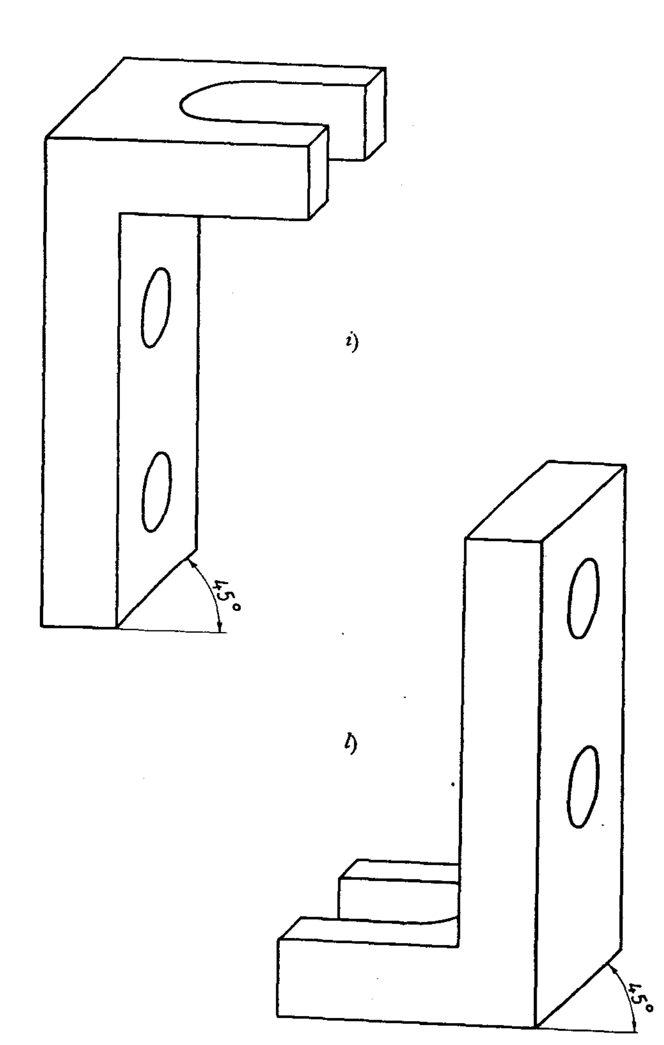
h)



f)



g)



i)

l)

DETERMINACIÓN DE LA VERDADERA FORMA DE UNA FIGURA PLANA

31. Generalidades

En el n.° 23 ya se ha hecho notar que una figura plana o una cara exterior de un objeto aparecen en su verdadera forma, en una sola proyección, solamente si la figura o la cara son paralelas al plano de proyección.

En todos los otros casos, ninguna de las tres proyecciones reproduce la forma verdadera de la figura, la cual en varios casos puede, sin embargo, ser necesario conocer. Se presenta por tanto el problema de determinar la verdadera forma y tamaño de una figura plana, problema que, en líneas generales, es de resolución complicada y exige un extenso conocimiento de la geometría descriptiva.

Por otra parte, en el dibujo técnico, por regla general, interesa sólo en algunos casos particulares, lo que simplifica notablemente el problema general. Por esto nos limitaremos aquí a considerar el caso en que la figura de que se trata esté situada en un plano perpendicular a uno de los planos de proyección. En este caso, la proyección correspondiente se reduce a un segmento, como ya se ha visto en otros casos (por ejemplo, en la figura I, 166).

Considerando, como ejemplo, el caso de un rectángulo (fig. I, 242) perpendicular al plano de alzado y formando con el plano de la planta un ángulo α, se puede comprobar que la deformación de la planta (en este caso) se produce solamente en la longitud, que resulta A_1B_1 en vez de A_2B_2; en la misma planta, en cambio, dada la posición del rectángulo, la anchura A_1D_1 es la verdadera. Análogamente, en la 3.ª proyección, la A_3D_3 representa la verdadera anchura; mientras que A_3B_3 no representa la verdadera longitud de la figura.

Basándose en estas consideraciones, es ya bastante fácil determinar la forma verdadera del rectángulo, o sea rebatirlo sobre un plano, el del alzado por ejemplo. Para hacerlo basta girar dicho rectángulo un ángulo de 90° alrededor de su lado *AB;* al mismo tiempo, para mejorar la representación, conviene darle una traslación cualquiera en sentido perpendicular a A_2B_2. Esta traslación se ha representado por la magnitud $A_2A = B_2B$.

Trazada pues *AB*, longitud verdadera de la base del rectángulo, se dibuja su altura $AD = BC = A_1D_1$, que es ya la altura verdadera del rectángulo, como se ha dicho antes. Queda con esto dibujado el rectángulo *ABCD*, que resuelve el problema propuesto.

32. Aplicaciones

Cuanto se ha dicho para el rectángulo puede extenderse evidentemente a una *línea quebrada* (fig. I, 243); o a un *polígono cualquiera* (fig. I, 244), considerando cada lado del polígono o de la quebrada como lado de un rectángulo o de un trapecio (por ejemplo, $A_1B_1B_0A_0$; $B_1C_1C_0B_0$; etc.) cuyo lado opuesto coincida con la línea de tierra.

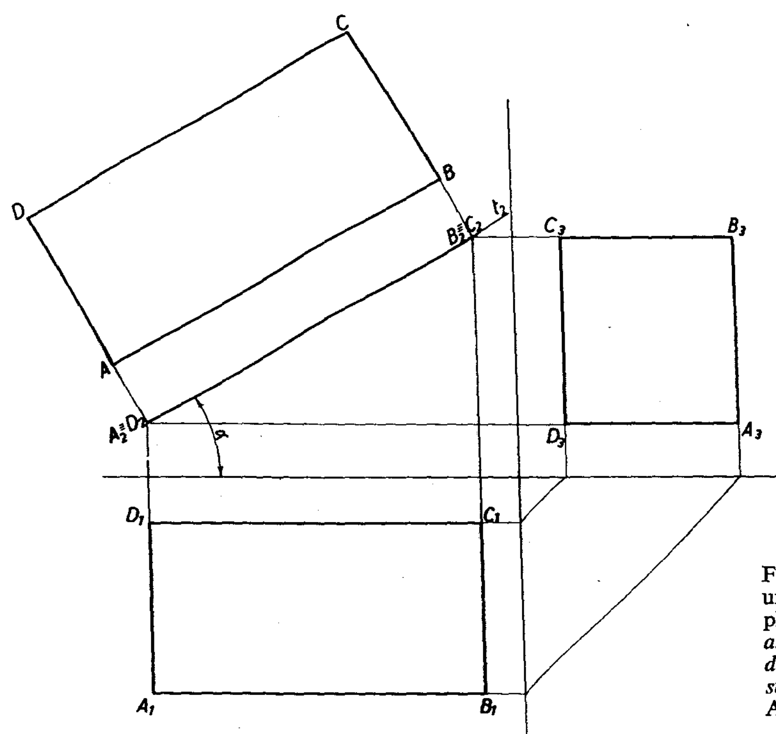


Fig. I, 242. Determinación de la forma verdadera [illegible] un rectángulo situado en un plano perpendicular [illegible] plano del alzado. *El plano del rectángulo corta [illegible] alzado según la recta* t_2. *El segmento* A_2B_2 [illegible] *dadera longitud del rectángulo; el segmento* A_1D_1 [illegible] *su verdadera anchura. Por tanto, basta levantar* [illegible] A_2 *y por* B_2 *las perpendiculares a* t_2 *y construir sobre ellas un rectángulo de lados* A_2B_2 *y* A_1D_1.

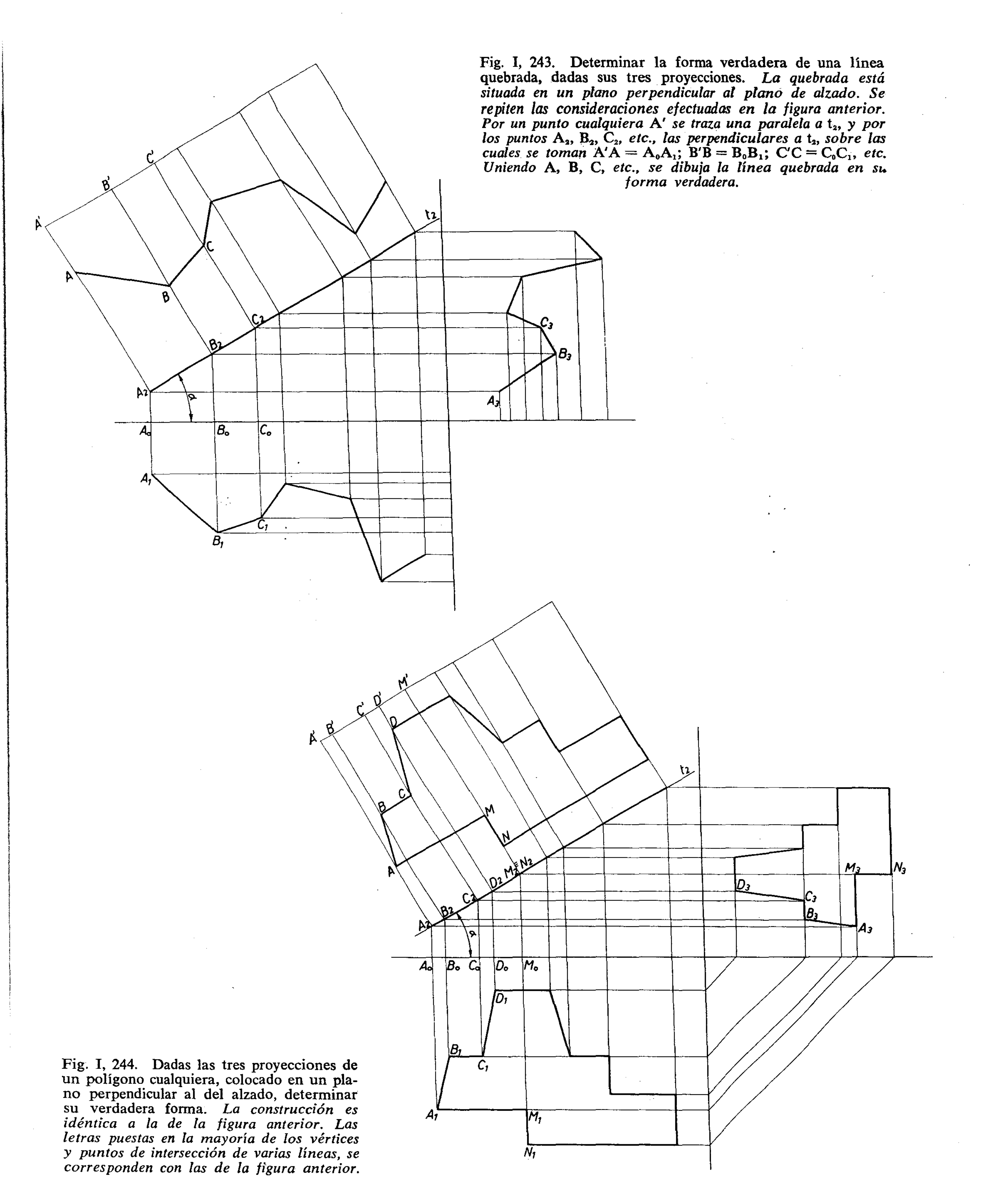


Fig. I, 243. Determinar la forma verdadera de una línea quebrada, dadas sus tres proyecciones. *La quebrada está situada en un plano perpendicular al plano de alzado. Se repiten las consideraciones efectuadas en la figura anterior. Por un punto cualquiera A' se traza una paralela a* t_2, *y por los puntos* A_2, B_2, C_2, *etc., las perpendiculares a* t_2, *sobre las cuales se toman* $A'A = A_0A_1$; $B'B = B_0B_1$; $C'C = C_0C_1$, *etc. Uniendo A, B, C, etc., se dibuja la línea quebrada en su forma verdadera.*

Fig. I, 244. Dadas las tres proyecciones de un polígono cualquiera, colocado en un plano perpendicular al del alzado, determinar su verdadera forma. *La construcción es idéntica a la de la figura anterior. Las letras puestas en la mayoría de los vértices y puntos de intersección de varias líneas, se corresponden con las de la figura anterior.*

En la figura correspondiente la línea quebrada se tiene evidentemente $A'A = A_0A_1$; $B'B = B_0B_1$ y así sucesivamente.

Si hubiese algún lado curvo, se determinaría su forma verdadera de un modo análogo (fig. I, 245), considerando cierto número de puntos de la curva y sustituyendo ésta con la imaginación por una línea quebrada, a la que se aplica cuanto antecede.

En el caso de que el plano de la figura, en vez de ser perpendicular al plano de alzado, lo fuese a uno de los otros dos planos de proyección, se resolvería el problema de modo análogo.

Y también de modo análogo se resuelve el problema en el caso de que el polígono situado en un plano perpendicular a uno de los planos de proyección sea la cara superior de un prisma truncado oblicuamente, o en general de un sólido cualquiera (fig. I, 246).

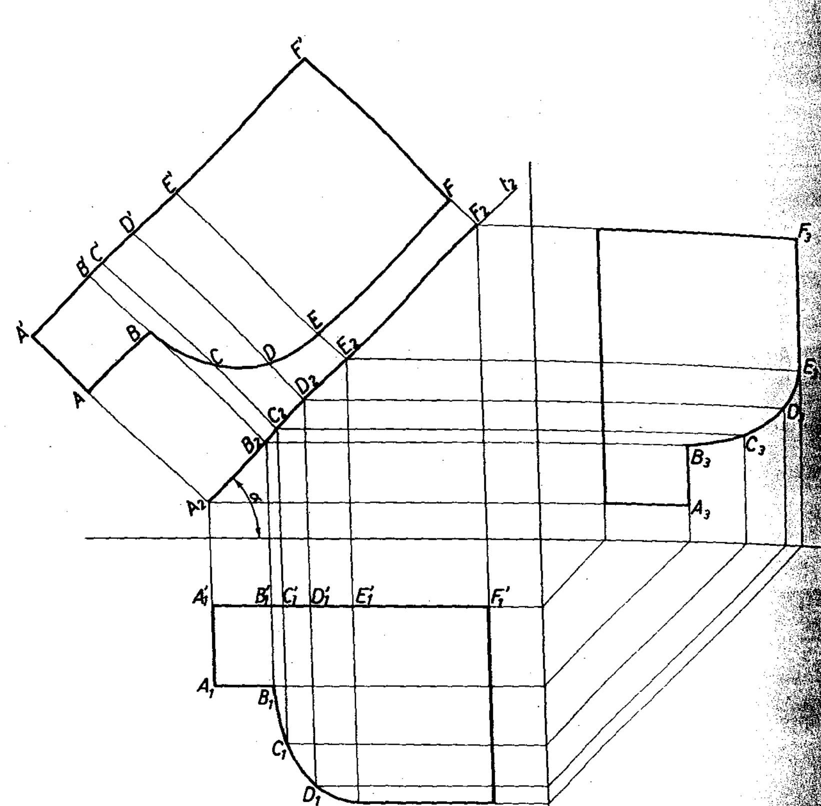


Fig. I, 245. **Dadas las tres proyecciones de un polígono mixtilíneo, colocado en un plano perpendicular al del alzado, determinar su verdadera forma.** *También en este caso la construcción es idéntica a las anteriores. Mas para los lados curvos se han de escoger algunos puntos intermedios entre los extremos, para los cuales se efectúa la construcción. En la figura, entre los extremos* B *y* E *del único lado curvilíneo, se han escogido los dos puntos* C *y* D, *que son suficientes para el trazado de la curva. Si es necesario, se pueden escoger, naturalmente, unos cuantos puntos más.*

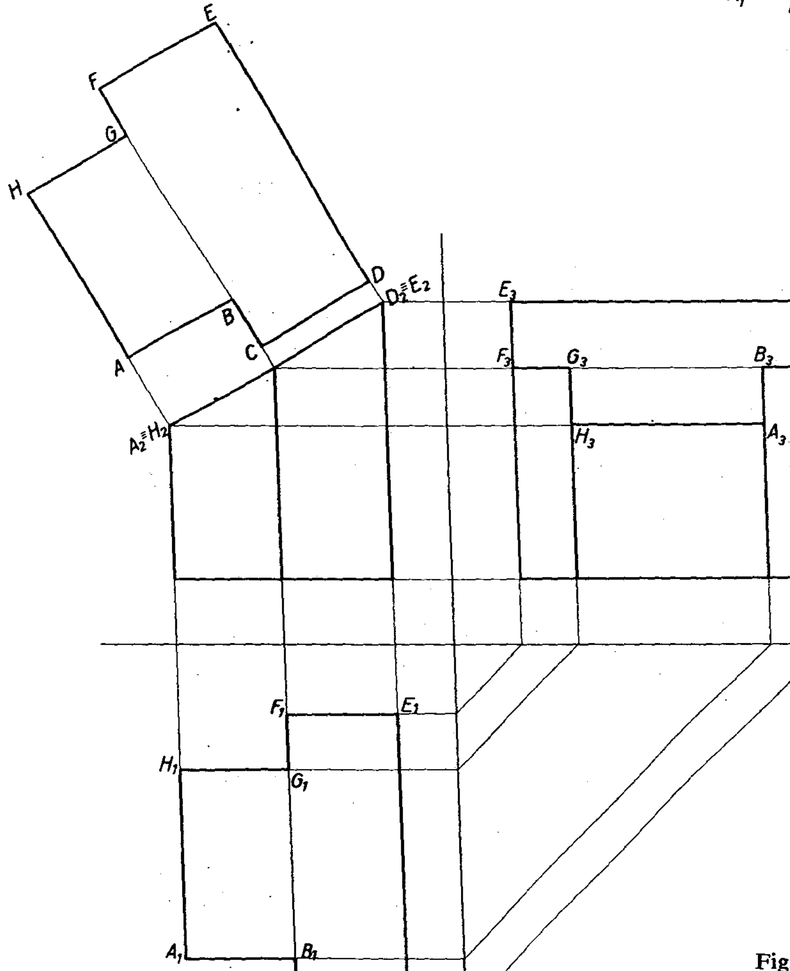


Fig. I, 246. **Determinar la verdadera forma de la cara superior de un prisma oblicuo, del que se dan las tres proyecciones.** *También se resuelve este problema de modo análogo a los anteriores.*

Fig. I, 247. Determinación de las tres proyecciones de una circunferencia colocada en un plano perpendicular al del alzado. *La intersección de ambos planos es la recta t_2. Este problema es inverso del anterior y se resuelve, punto por punto, como aquél. Dibujada la circunferencia y trazadas sus tangentes perpendiculares a t_2, se determinan sobre dicha t_2 las segundas proyecciones de los puntos* B, C, *etc., escogidos sobre la circunferencia. Trazadas las tres proyecciones de los ejes de la circunferencia, se determina inmediatamente* A_1 *sobre la perpendicular a la línea de tierra desde* A_2. B_1 *se halla sobre la perpendicular a la línea de tierra desde* B_2 *y en una posición en la que se verifique* $B_0B_1 = BB'$; *y así para los demás puntos; la tercera proyección debe satisfacer a las condiciones acostumbradas.*

Fig. I, 248. Construcción de las tres proyecciones de una corona circular, de dimensiones dadas, puesta en un plano perpendicular al del alzado. *Se ha de repetir dos veces la construcción anterior.*

El problema inverso del que acabamos de tratar es determinar las tres proyecciones de una figura, cuya forma verdadera se conoce, sabiendo además que está situada en un plano perpendicular a uno de los planos de proyección, formando, como ejemplo, un ángulo α con el plano de la planta. Se resuelve este problema aplicando en sentido contrario cuanto se ha expuesto en los números anteriores.

La figura I, 247 representa la construcción de las tres proyecciones de una circunferencia situada en un plano perpendicular al plano de alzado.

Las figuras I, 248-250 repiten la misma construcción para una corona circular, puesta en un plano perpendicular, respectivamente, al plano del alzado, al plano de la planta o al plano del perfil.

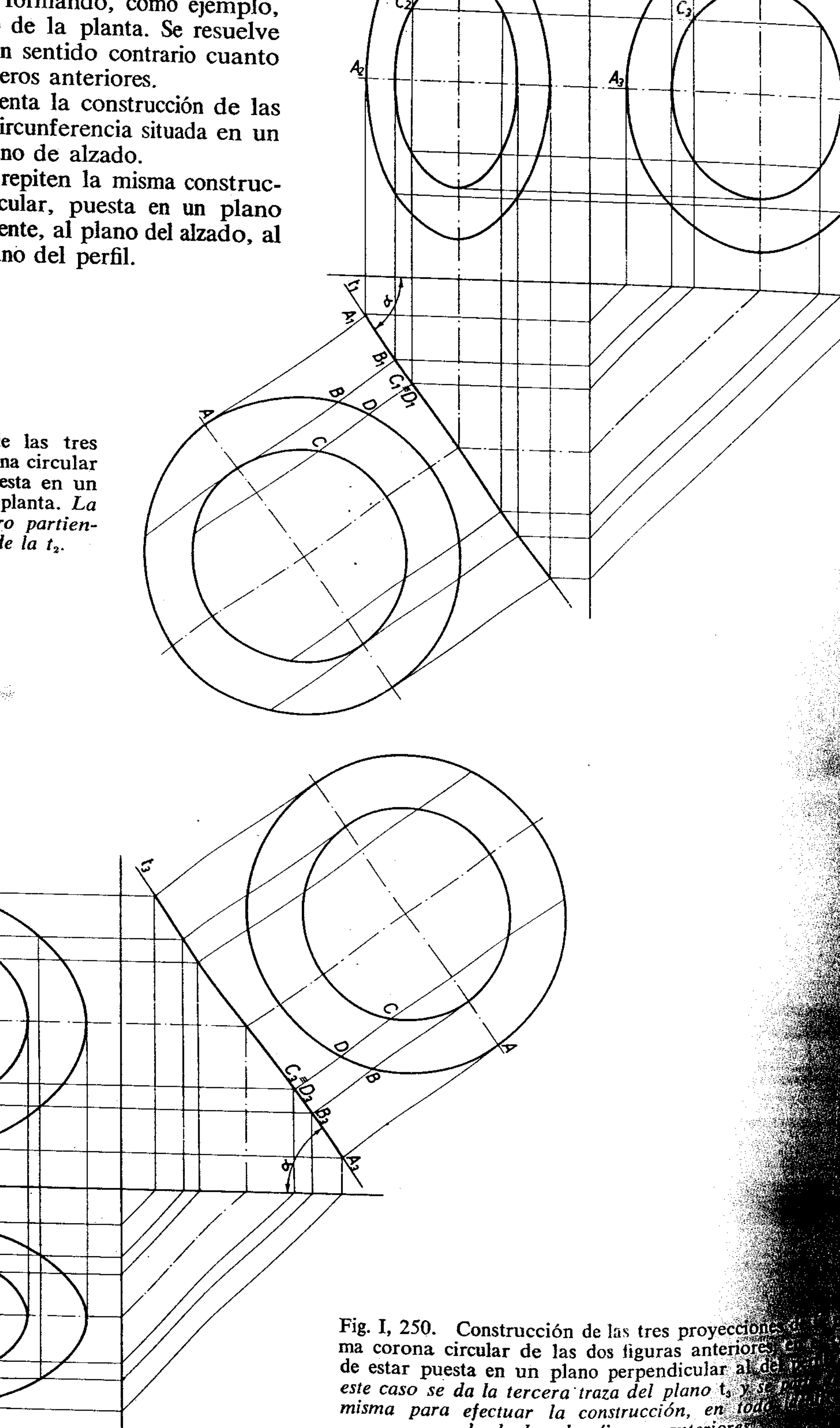


Fig. I, 249. Construcción de las tres proyecciones de la misma corona circular de la figura anterior, pero puesta en un plano perpendicular al de la planta. *La construcción es la misma, pero partiendo de la traza t_1 en lugar de la t_2.*

Fig. I, 250. Construcción de las tres proyecciones [illegible] ma corona circular de las dos figuras anteriores [illegible] de estar puesta en un plano perpendicular al de [illegible] *este caso se da la tercera traza del plano t_3 y se* [illegible] *misma para efectuar la construcción, en todo* [illegible] *la de las dos figuras anteriores.*

INTERSECCIONES Y PENETRACIONES

33. Generalidades

Estudiados ya los modos de efectuar la representación de los objetos *(proyecciones ortogonales; axonometría)*, se ha de pasar al estudio de las *intersecciones de un cuerpo con un plano y a las penetraciones de dos sólidos*.

Este estudio se limitará a los casos más sencillos y a la representación con tres proyecciones, no tratándose casi nunca, en su forma general, de la proyección axonométrica.

Si se imagina un cuerpo sólido cortado por un plano y que se le ha quitado la parte cortada, *la superficie que aparece después de separar la parte cortada se denomina* **sección del sólido dado con el plano considerado.**

No es necesario insistir sobre la importancia de las secciones en el dibujo técnico. Cuando se corta una pieza, *se puede ver su forma interior;* de ahí que sea más fácil la interpretación de los dibujos técnicos *si, además de las proyecciones normales, se dan una o más secciones,* efectuadas con planos bien escogidos.

Las secciones de un sólido están limitadas por una línea que se llama **línea de intersección,** *o también sencillamente* **intersección** *del sólido dado con el plano considerado.*

La porción de la sección que resulta cortada efectivamente se dibuja rayada; por tanto, si el sólido es macizo, toda la sección aparecerá rayada; pero si presenta alguna cavidad, solamente aparecerá rayada la parte efectivamente cortada.

Otras veces puede ocurrir que un sólido esté penetrado por otro sólido, debiéndose lógicamente separar la parte de uno u otro sólido que resulte común a ambos; en este caso se tiene la llamada **penetración** *de dos sólidos.* Puede ser necesario el dibujo en las tres proyecciones de la línea de intersección de los dos sólidos.

Tanto las intersecciones como las penetraciones, limitándose a los casos más sencillos y susceptibles de aplicación técnica, se pueden estudiar basándose simplemente en las nociones ya adquiridas

34. Intersección de un sólido con un plano

Como ya se ha dicho, se limitará su estudio a los casos más sencillos, en los que el sólido y el plano cortante están colocados en las posiciones más cómodas respecto a los planos de proyección.

Ante todo se ha de fijar la forma de representar un plano cortante. Considerando los semiplanos de planta, y alzado, es evidente que *otro plano cualquiera* (fig. I, 251) *cortará estos dos planos según dos semirrectas, llamadas respectivamente* **primera traza** *y* **segunda traza** *del plano* α. Si se consideran los tres planos de proyección, las trazas, serán naturalmente, tres.

Basta reflexionar un instante para comprender que, por lo antes dicho, las trazas tendrán posiciones especiales, cuando el plano a que se refieran esté en una posición especial con respecto a los planos de proyección.

En la figura I, 252 se representan la primera y la segunda traza de un plano:

a) *perpendicular a la línea de tierra;*

b) *perpendicular al plano del alzado y formando un ángulo* α *con el plano de la planta;*

c) *perpendicular al plano de la planta y formando con el del alzado un ángulo* β*;*

d) *paralelo al plano de la planta* (no hay evidentemente 1ª traza);

e) *paralelo al plano del alzado* (análogamente al caso anterior, no hay 2ª traza).

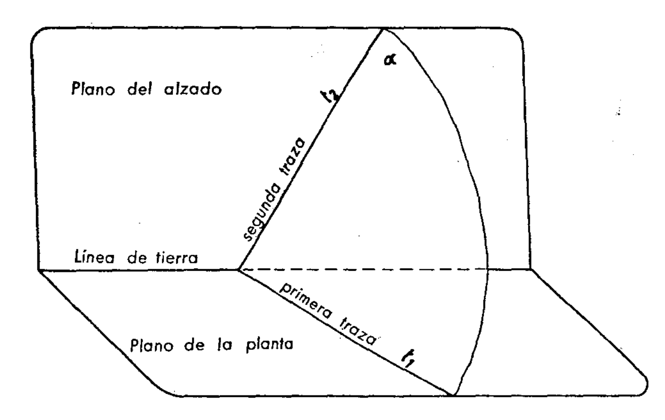


Fig. I, 251. *Un plano cualquiera corta los planos de planta y alzado según dos rectas, llamadas respectivamente* primera traza *y* segunda traza.

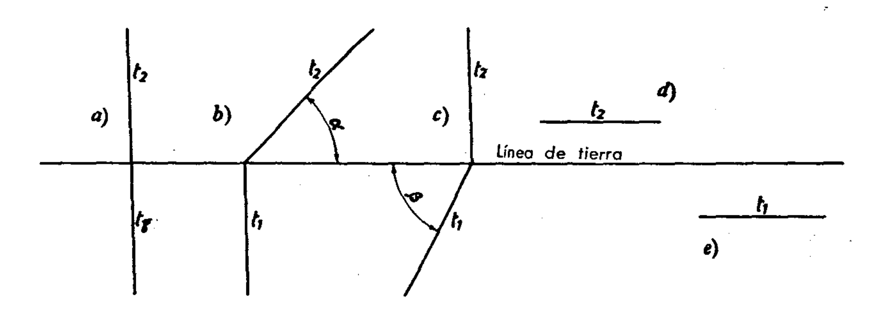


Fig. I, 252. Trazas de los planos en posiciones especiales respecto a la línea de tierra. a) **Plano perpendicular a la línea de tierra;** *las dos trazas, perpendiculares a la línea de tierra, coinciden;* b) **plano perpendicular al del alzado,** *formando un ángulo* α *con el plano de la planta;* c) **plano perpendicular al de planta,** *formando un ángulo* β *con el plano del alzado;* d) **plano paralelo al de la planta;** *la primera traza, al infinito;* e) **plano paralelo al del alzado;** *la segunda traza, al infinito.*

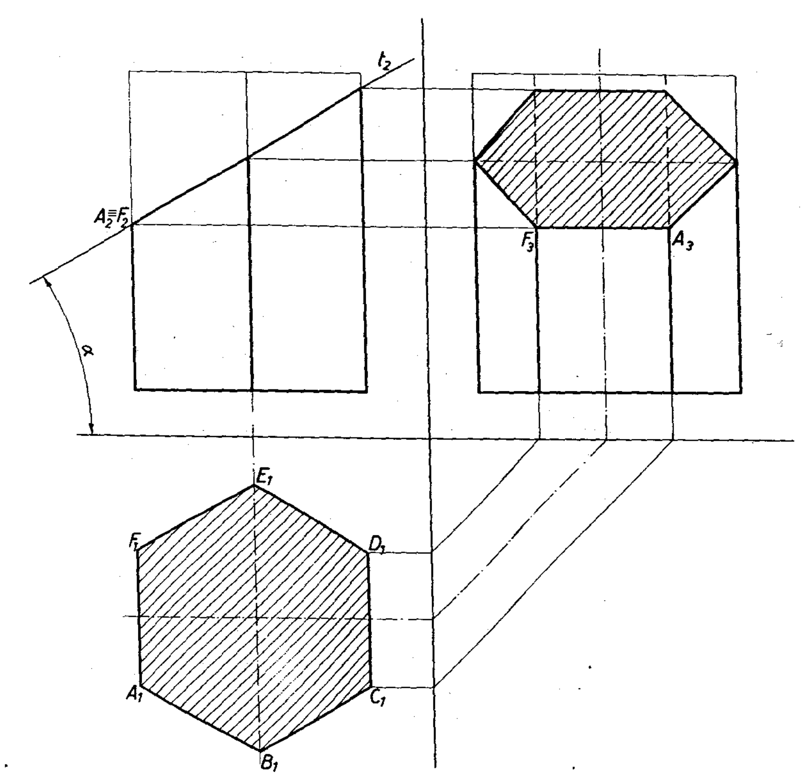
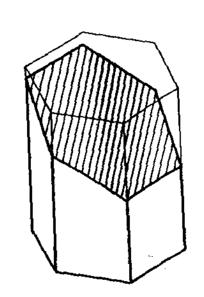


Fig. I, 253. *Sección oblicua de un prisma recto hexagonal regular. Se dan las tres proyecciones del prisma; está cortado con un plano perpendicular al del alzado, formando con el de la planta un ángulo* α. *En el dibujo, para mayor sencillez, se ha omitido la primera traza del plano. Se ha señalado con letras la construcción de la sección por los puntos* A *y* F. *En el alzado y perfil se ha indicado con trazo fino la parte separada. En un pequeño dibujo se indica la axonometría del sólido, puesto en una posición distinta.*



En la figura I, 253 se representa la sección de un prisma recto hexagonal regular, con un plano perpendicular al plano del alzado y formando con el de la planta un ángulo α. Para ahorrar espacio se ha omitido la primera traza del plano cortante; su segunda traza es $\mathbf{t}_2$. Su construcción es tan sencilla que no necesita explicación. Se llama la atención sobre el hecho de que *la planta de la sección coincide con la sección recta del prisma, aunque no da en realidad la forma verdadera* de la sección. Pero ésta se determina fácilmente mediante la construcción explicada en el n.° 31.

35. Secciones cónicas

Un caso sobre el que conviene dar algunas nociones generales es el de las secciones de los conos y cilindros. Un cono se ha de entender que está formado por dos faldas opuestas, unidas por el vértice, como se ve en la figura I, 254.

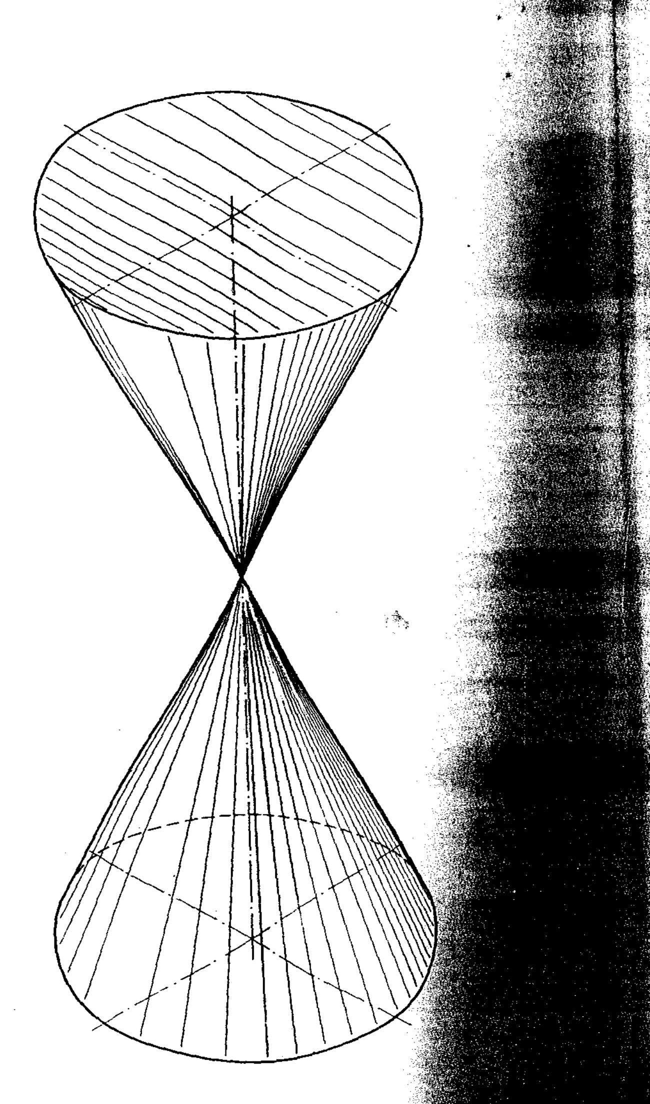


Fig. I, 254. *Un cono se compone de dos faldas y se ha de considerar* prolongado indefinidamente *hacia arriba y hacia abajo, aunque naturalmente no se pueda dibujar así en la figura.*

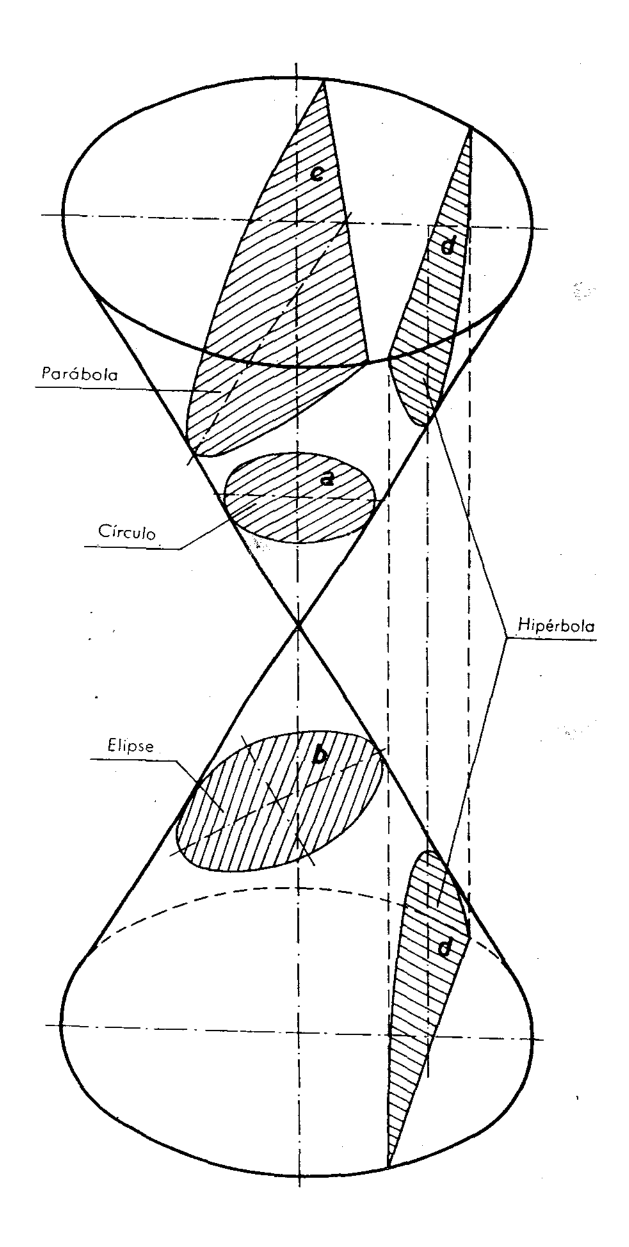


Fig. I, 255. **Secciones cónicas.** *Según la posición del plano cortante respecto al eje del cono, la sección puede ser: circular* (**a**); *elíptica* (**b**); *parabólica* (**c**) *o hiperbólica* (**d**), *compuesta esta última de dos ramas.*

Cuando se corta un cono con un plano (fig. I, 255), *la sección presenta formas muy distintas según las diferentes posiciones que adopte el plano respecto al cono.* Estas posiciones pueden clasificarse como sigue:

a) *Plano cortante perpendicular al eje del cono.* La sección **a** es un **círculo.**

b) *Plano cortante formando con el eje un ángulo menor de 90°, pero mayor que la mitad de la abertura del cono.* La sección **b** es una **elipse** tanto más alargada cuanto menor sea el ángulo que formen el plano cortante y el eje (dentro de los límites indicados).

c) *Plano cortante formando con el eje un ángulo igual a la semiabertura del cono.* En este caso, el plano corta a la falda del cono según una sección ilimitada **c,** limitada en parte por una línea llamada **parábola.**

d) *Plano cortante formando con el eje un ángulo igual a la semiabertura del cono.* En este caso el plano corta las *dos faldas del cono,* siendo ambas secciones ilimitadas, y la curva **d** que las limita en parte se llama **hipérbola.**

Ya se ha tratado de estas curvas, aunque sin señalar su derivación del cono, en el capítulo relativo a las construcciones geométricas (n.° 18).

Si en cambio se corta un cilindro con un plano, se tiene una sección *circular* si el plano cortante es perpendicular al eje del cilindro; una *elipse,* si el plano no es perpendicular (fig. I, 256).

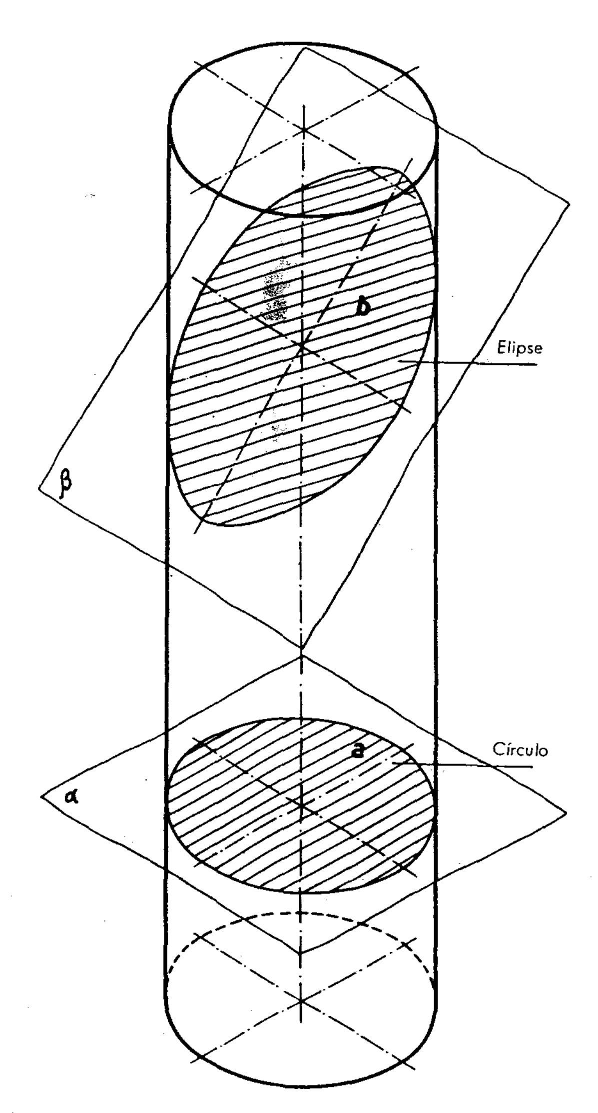


Fig. I, 256. *Las secciones de un cilindro con un plano pueden ser solamente circulares* (**a**) *o elípticas* (**b**).

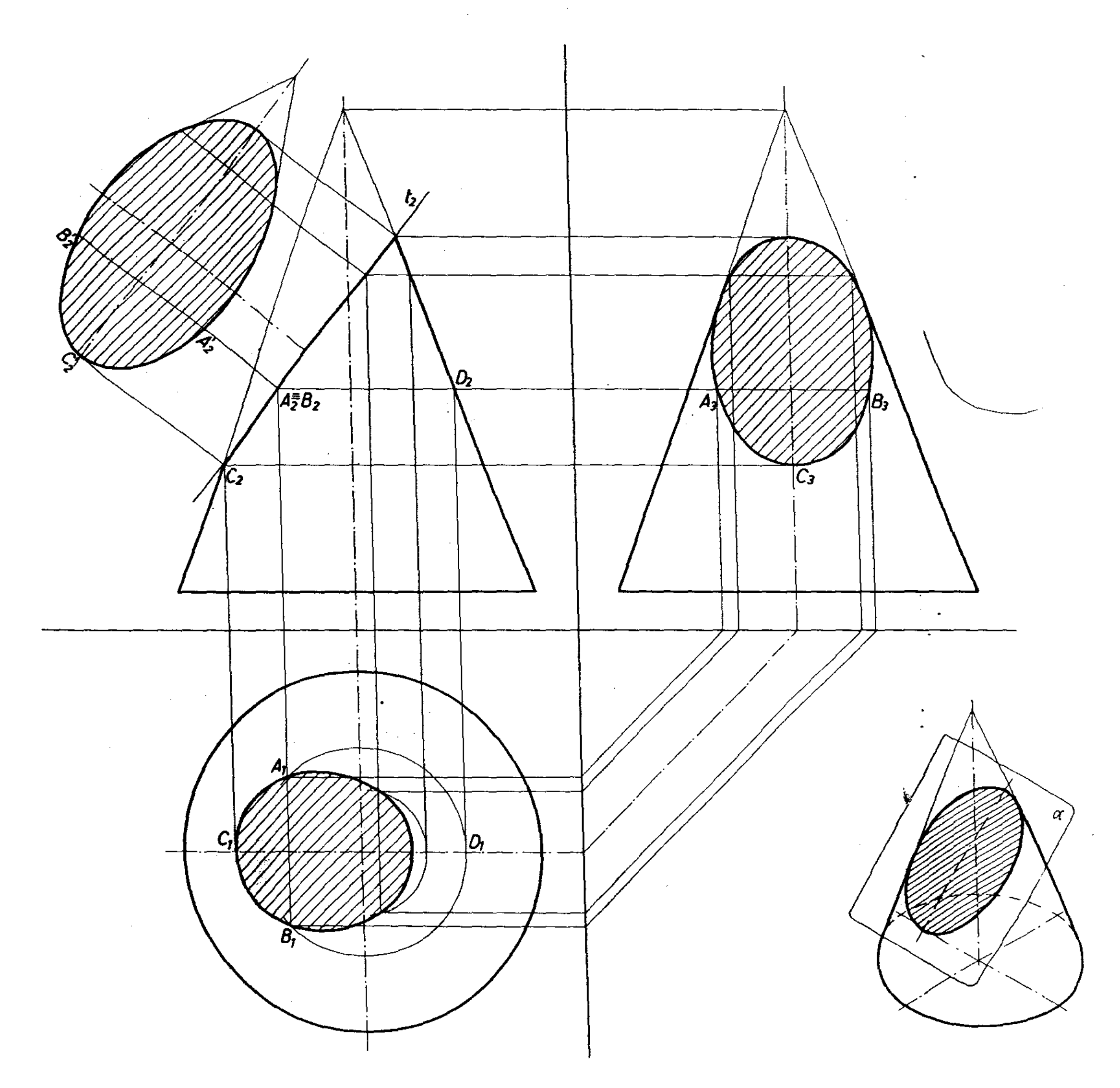


Fig. I, 257. Secciones de un cono recto de eje vertical con un plano α perpendicular al plano del alzado que no sea paralelo a alguna generatriz del cono. *Dada la posición del plano, la sección resulta elíptica y se determinan sus tres proyecciones punto por punto. Cada punto se ha de considerar perteneciente a la intersección del cono con un plano paralelo a la base, pasando por el punto considerado; en el caso examinado de un cono recto, tal intersección es una circunferencia concéntrica con la base. Así, por ejemplo, para determinar la planta y perfil del punto representado por* A_2 *en segunda proyección, se traza por* A_2 *una horizontal hasta cortar en* D_2 *la generatriz del cono. Por* D_2 *se traza una perpendicular a la línea de tierra, determinando* D_1; *por* D_1 *se hace pasar una circunferencia, cuya intersección con la perpendicular a la línea de tierra por* A_2 *determina la primera proyección* A_1. *Del mismo modo se procede para los demás puntos. Para determinar luego la forma verdadera de las secciones, bastará aplicar las construcciones expuestas en la* figura I, 242 *y siguientes.*

36. Aplicaciones varias

En las figuras que siguen (figs. I, 257-269) se presentan varios ejemplos y aplicaciones de cuanto se acaba de exponer.

Entre los varios casos hay algunos en los que las consideraciones anteriores se han aplicado para determinar, en sus tres proyecciones, las caras que limitan sólidos de forma geométrica, que se pueden considerar derivados de intersecciones de cilindros, o cuerpos de otras formas, con planos. Pero, en este último caso, como que no se efectúa realmente la sección de un sólido, sino que sólo se aplican los principios de las secciones para determinar la superficie del cuerpo, las superficies que corresponderían a las secciones *no se han de rayar* (figs. I, 270 a 287).

Se recomienda a los lectores que observen con la mayor atención todos los ejemplos expuestos y que se ejerciten en la reconstrucción mental de la forma verdadera de los objetos representados mediante las tres proyecciones.

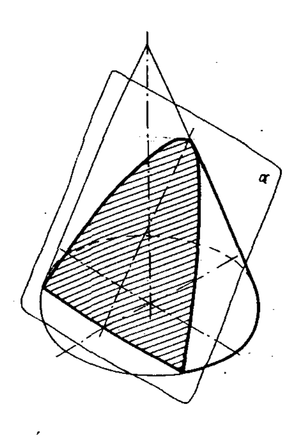


Fig. I, 258. Sección de un cono recto de eje vertical con un plano α paralelo a una sola generatriz, perpendicular al plano del alzado. *El plano cortante tiene la traza* t_2; *dada la posición del plano, la sección es una parábola. La construcción de las tres proyecciones de la sección se efectúa de modo análogo al ya expuesto en la* figura I, 257, *para determinar la forma verdadera de la sección se procede de modo semejante.*

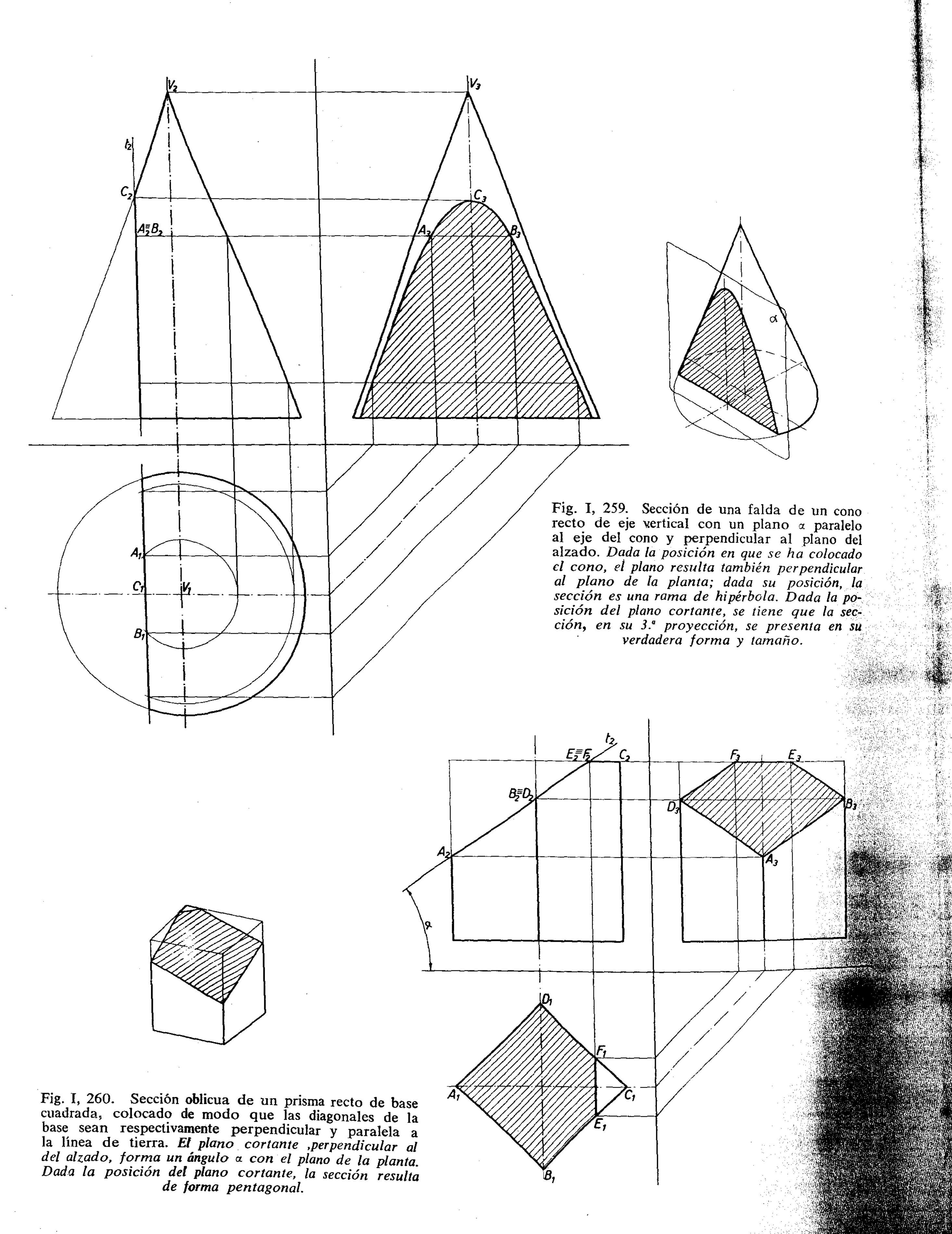


Fig. I, 259. Sección de una falda de un cono recto de eje vertical con un plano α paralelo al eje del cono y perpendicular al plano del alzado. *Dada la posición en que se ha colocado el cono, el plano resulta también perpendicular al plano de la planta; dada su posición, la sección es una rama de hipérbola. Dada la posición del plano cortante, se tiene que la sección, en su 3.ª proyección, se presenta en su verdadera forma y tamaño.*

Fig. I, 260. Sección **oblicua** de un prisma recto de base cuadrada, colocado **de** modo que las diagonales de la base sean respectiva**mente** perpendicular y paralela a la línea de tierra. ***El*** *plano cortante ,perpendicular al del alzado, forma un* ***ángulo*** *α con el plano de la planta. Dada la posición* ***del*** *plano cortante, la sección resulta de* ***forma*** *pentagonal.*

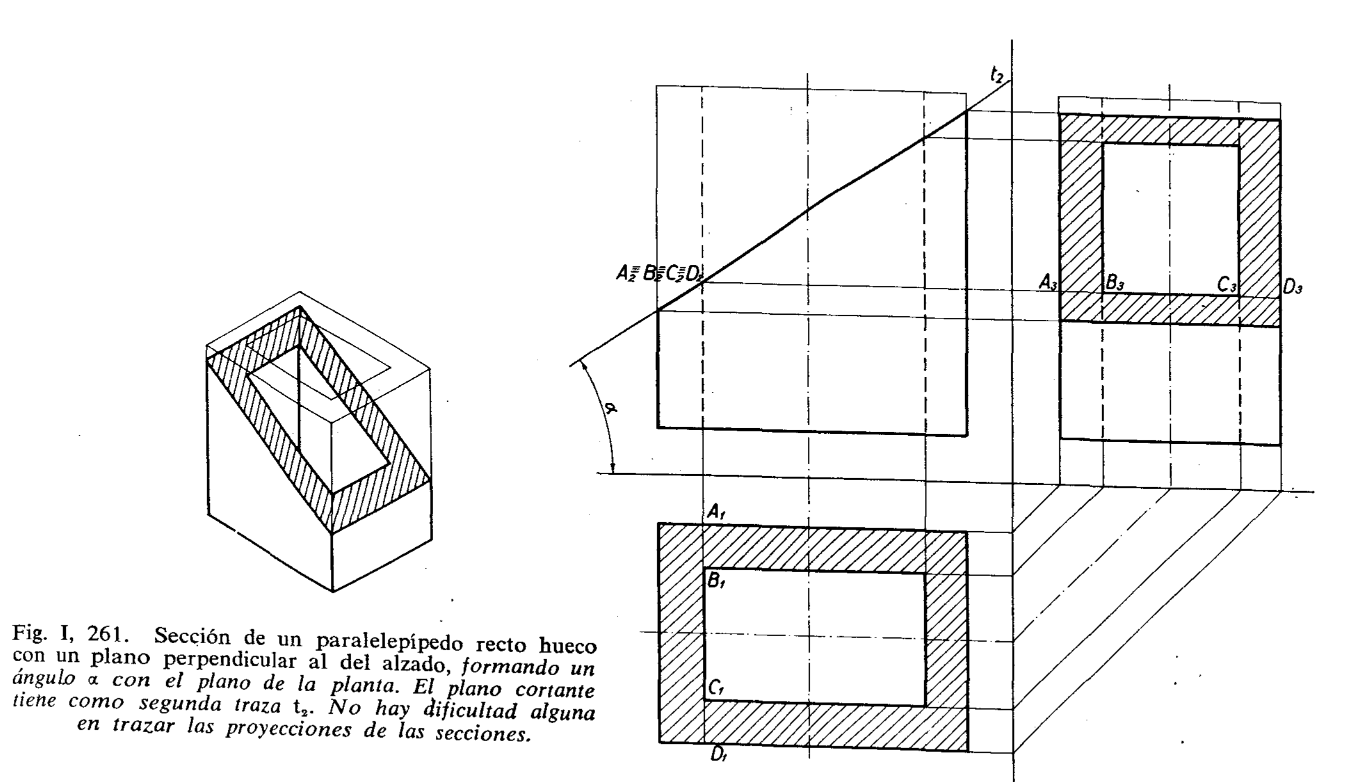


Fig. I, 261. Sección de un paralelepípedo recto hueco con un plano perpendicular al del alzado, *formando un ángulo* α *con el plano de la planta. El plano cortante tiene como segunda traza* t_2. *No hay dificultad alguna en trazar las proyecciones de las secciones.*

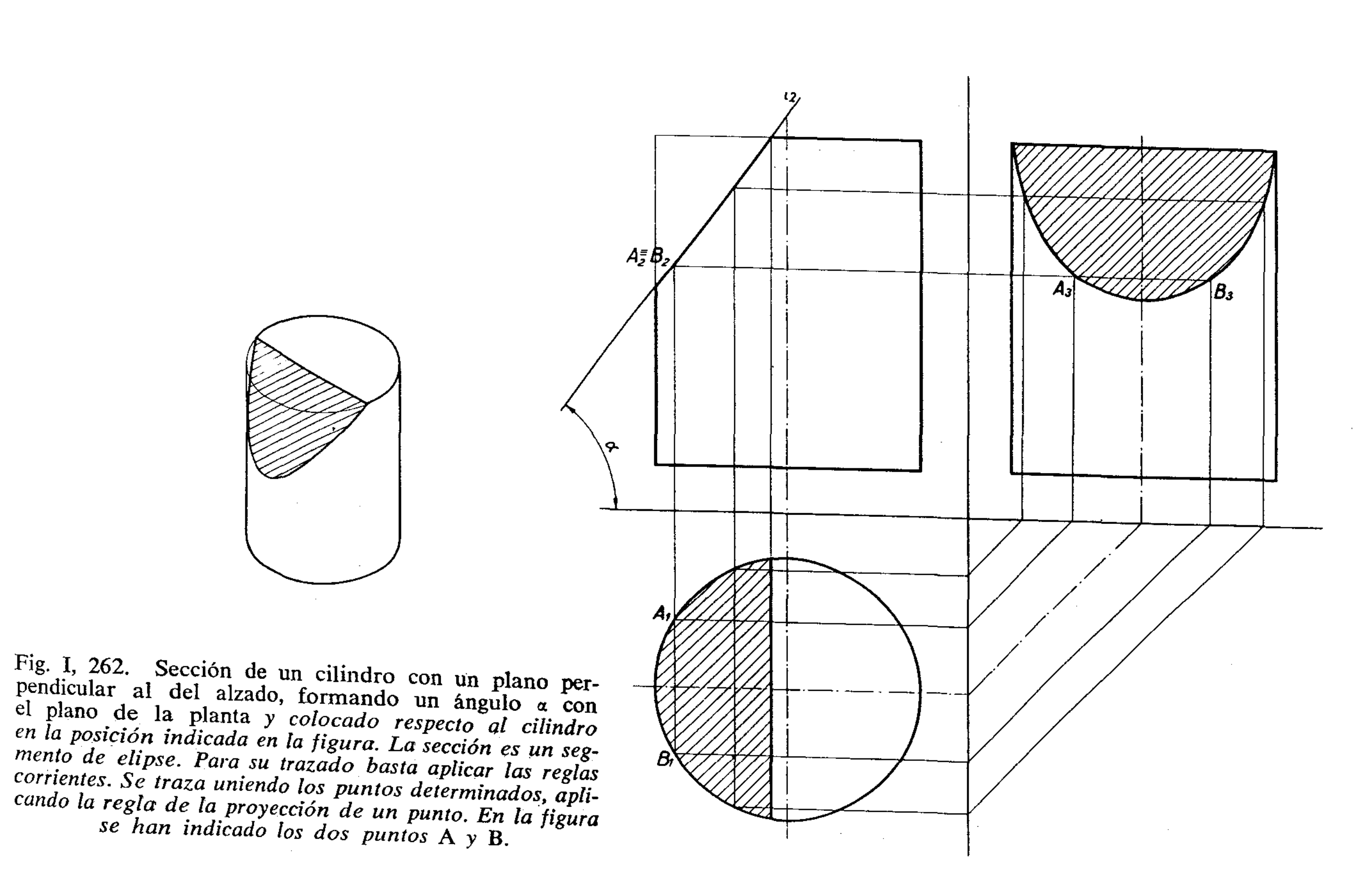
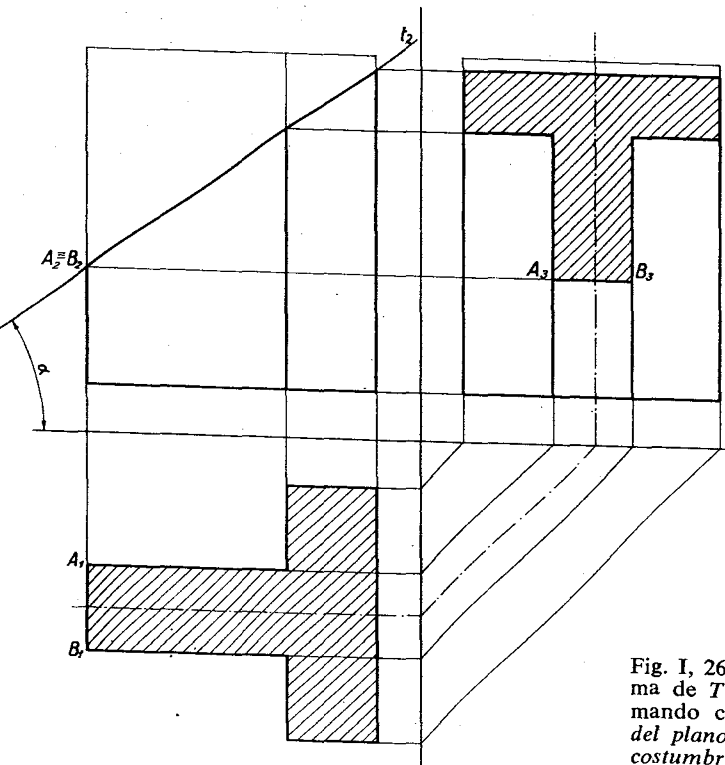


Fig. I, 262. Sección de un cilindro con un plano perpendicular al del alzado, formando un ángulo α con el plano de la planta *y colocado respecto al cilindro en la posición indicada en la figura. La sección es un segmento de elipse. Para su trazado basta aplicar las reglas corrientes. Se traza uniendo los puntos determinados, aplicando la regla de la proyección de un punto. En la figura se han indicado los dos puntos* A *y* B.



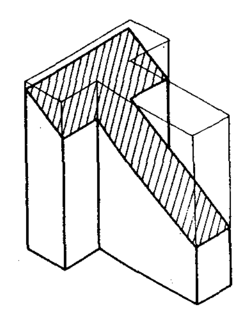
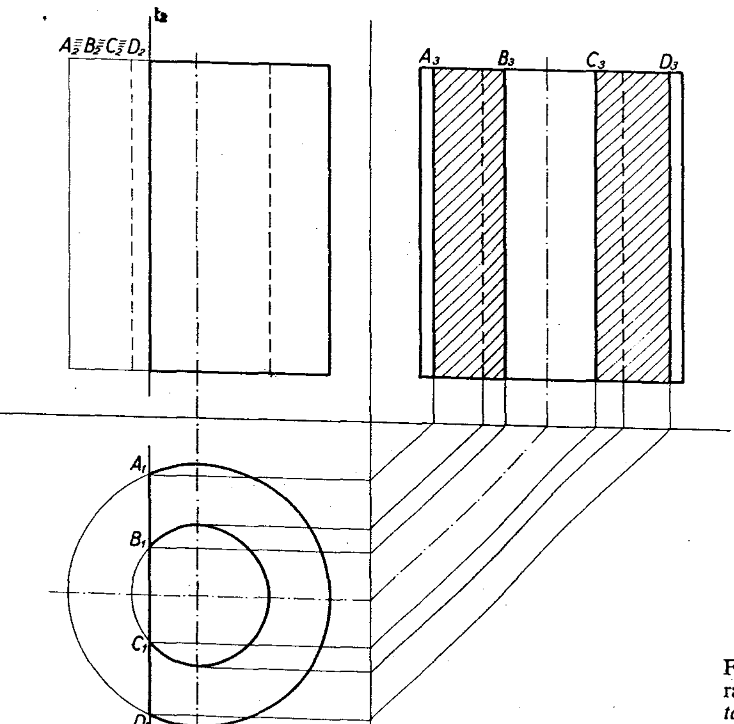


Fig. I, 263. Sección de un sólido recto, cuya base tiene forma de *T*, con un plano perpendicular al del alzado y formando con el plano de la planta un ángulo α. *La traza del plano es* t_2. *La construcción se efectúa con las reglas de costumbre. Se han indicado con* A *y* B *dos puntos, a los que se ha aplicado detalladamente la construcción.*



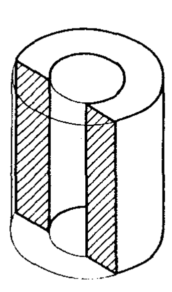


Fig. I, 264. Sección de un cilindro hueco con un plano paralelo a su eje. *Dada la posición del cilindro, el plano secante resulta perpendicular a la línea de tierra y por lo tanto la sección resulta compuesta de dos rectángulos, cuyas proyecciones se determinan por el método acostumbrado.*

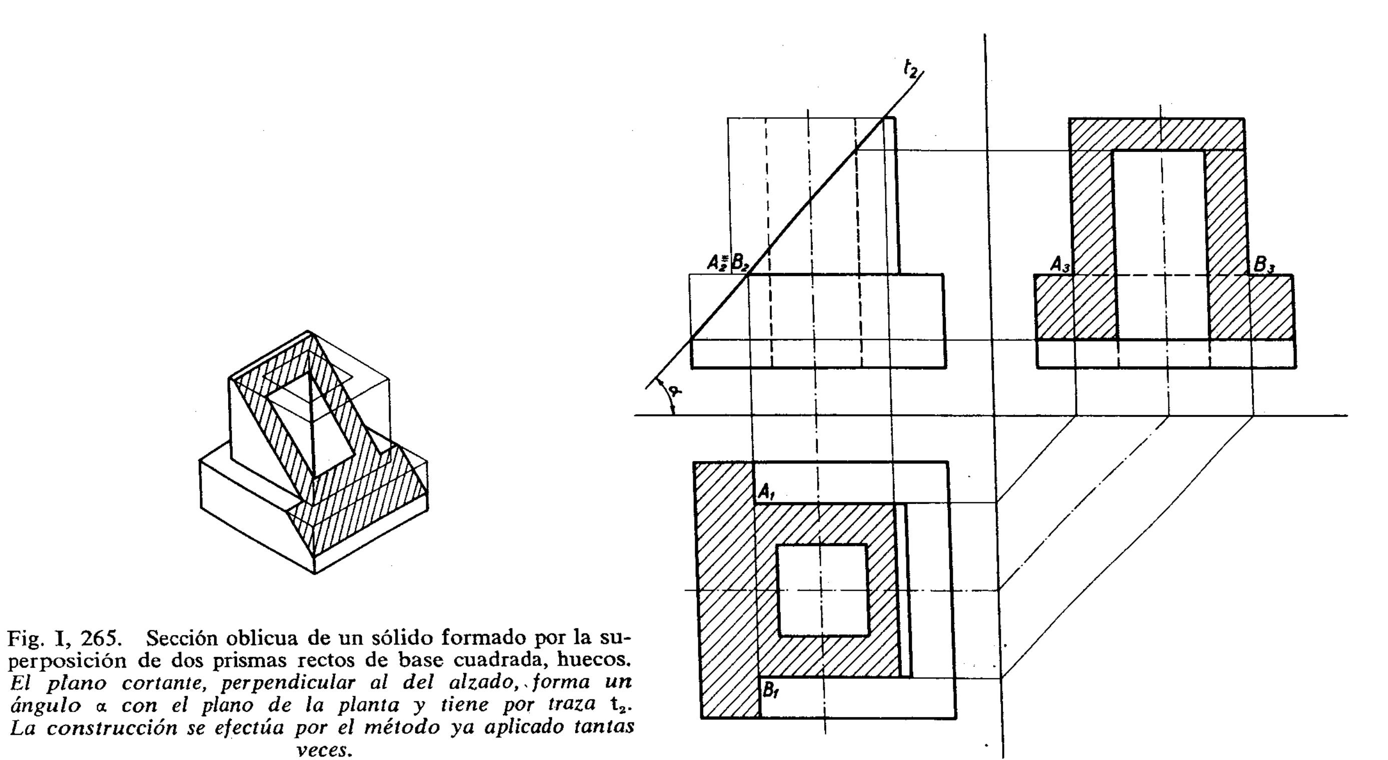
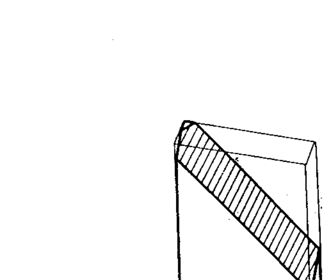


Fig. I, 265. Sección oblicua de un sólido formado por la superposición de dos prismas rectos de base cuadrada, huecos. *El plano cortante, perpendicular al del alzado, forma un ángulo* α *con el plano de la planta y tiene por traza* t_2. *La construcción se efectúa por el método ya aplicado tantas veces.*



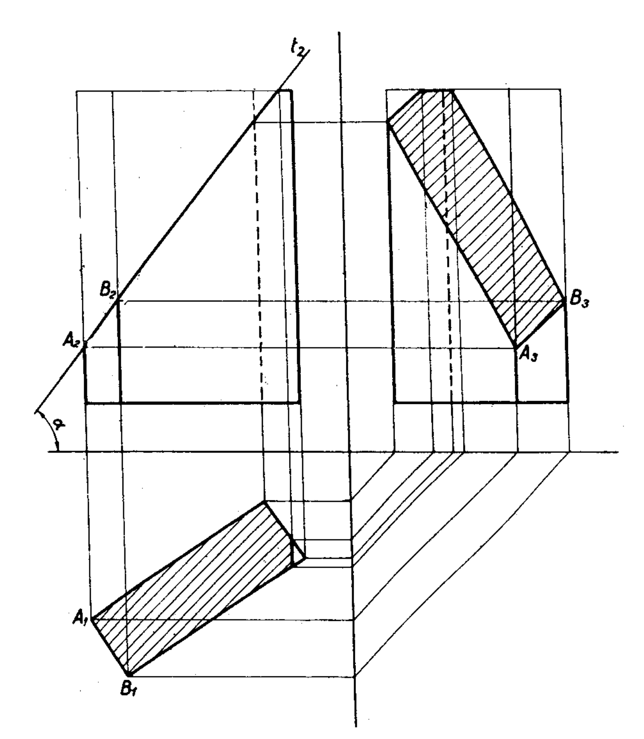
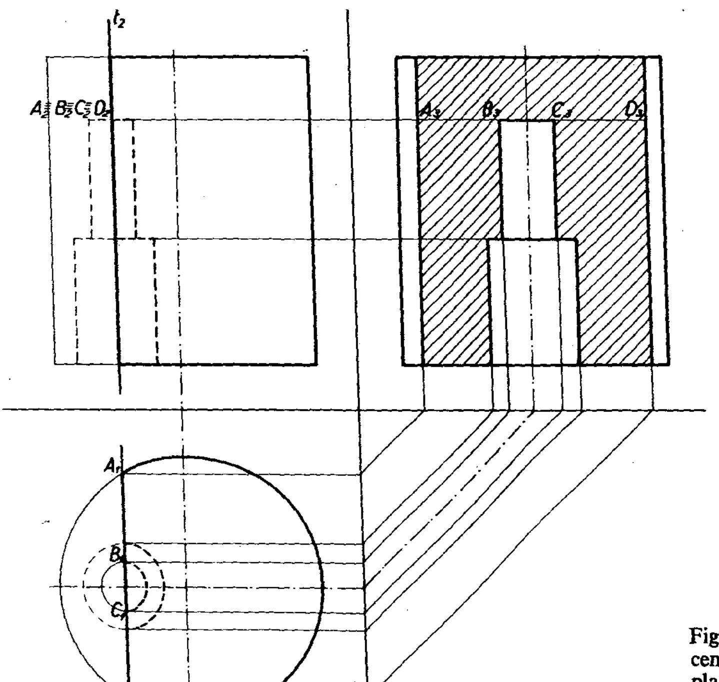


Fig. I, 266. Sección oblicua de un paralelepípedo recto que no tenga ninguna cara paralela al plano del alzado, con un plano perpendicular al del alzado y formando un ángulo α con el de la planta. *Este ejercicio tiene por objeto demostrar que, aunque el sólido no esté orientado del modo más cómodo, a efectos de su representación, la construcción de su sección no ofrece dificultad alguna siempre que se recurra a planos cortantes dispuestos en posiciones más sencillas con respecto a los planos de referencia, lo cual se verifica siempre, en la práctica, en los dibujos técnicos mecánicos.*



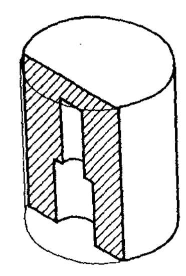
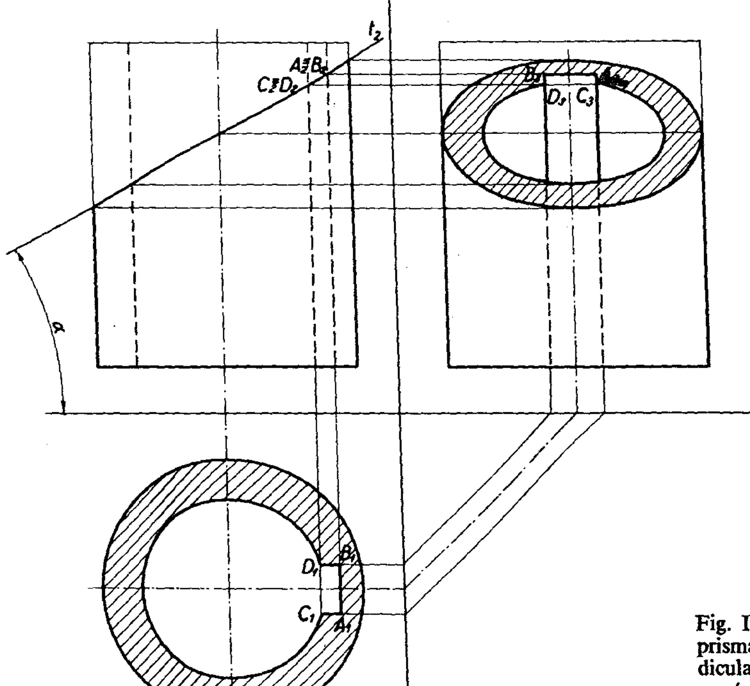


Fig. I, 267. Sección de un cilindro que tiene un agujero central que no lo atraviesa, de dos diámetros, mediante un plano paralelo a su eje. *La traza del plano es* t_2. *La sección se construye fácilmente por el método acostumbrado.*



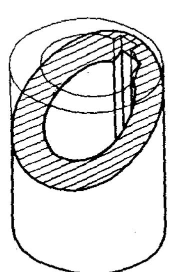
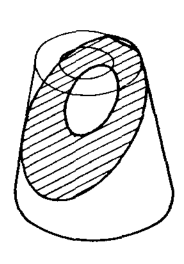


Fig. I, 268. Sección de un cilindro hueco, con una ranura prismática longitudinal interior, mediante un plano perpendicular al del alzado y formando con el plano de la base un ángulo α. *Se aplican las reglas acostumbradas. Se han señalado con letras las construcciones de las proyecciones de los puntos* A, B, C, D, *correspondientes a la ranura.*



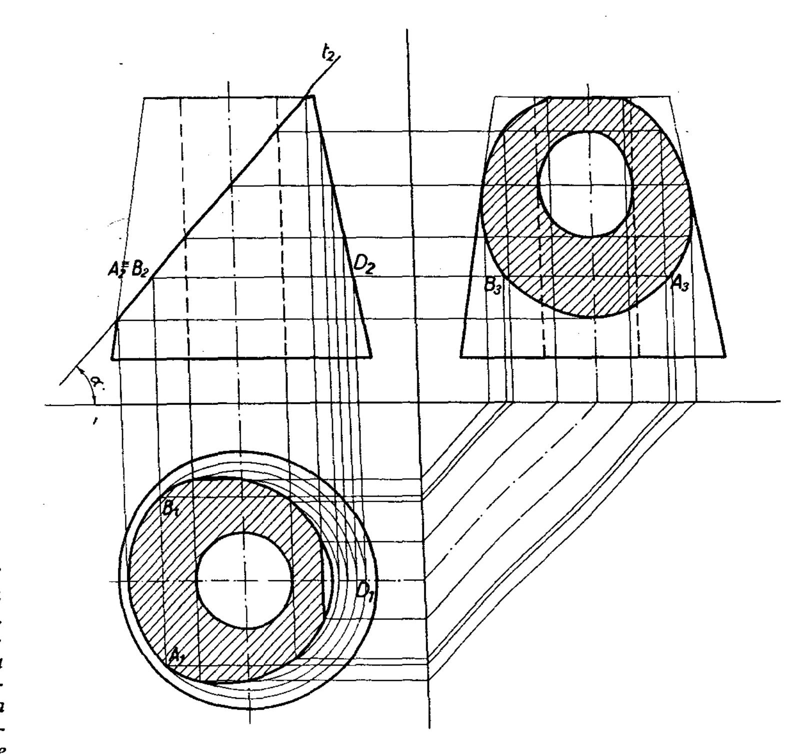


Fig. I, 269. Sección oblicua de un tronco de cono con un agujero axial cilíndrico, mediante un plano perpendicular al del alzado y formando un ángulo α con el de la planta. *Se aplica a diferentes puntos del tronco de cono la construcción efectuada en la* figura I, 257; *es decir, se imagina que por cada punto pasa una circunferencia perpendicular al eje del cono. En la figura se ha señalado con letras la construcción relativa a los puntos* A *y* B. *Por* A_2 *se traza una paralela a la línea de tierra; por* D_2 *se traza una perpendicular a la línea de tierra, determinando* D_1; *se traza la circunferencia por* D_1, *que al cortar a la perpendicular a la línea de tierra por* A_2 *y* B_2 *determina los puntos* A_1 *y* B_1 *de la sección. Del mismo modo se determinan los otros puntos buscados.*

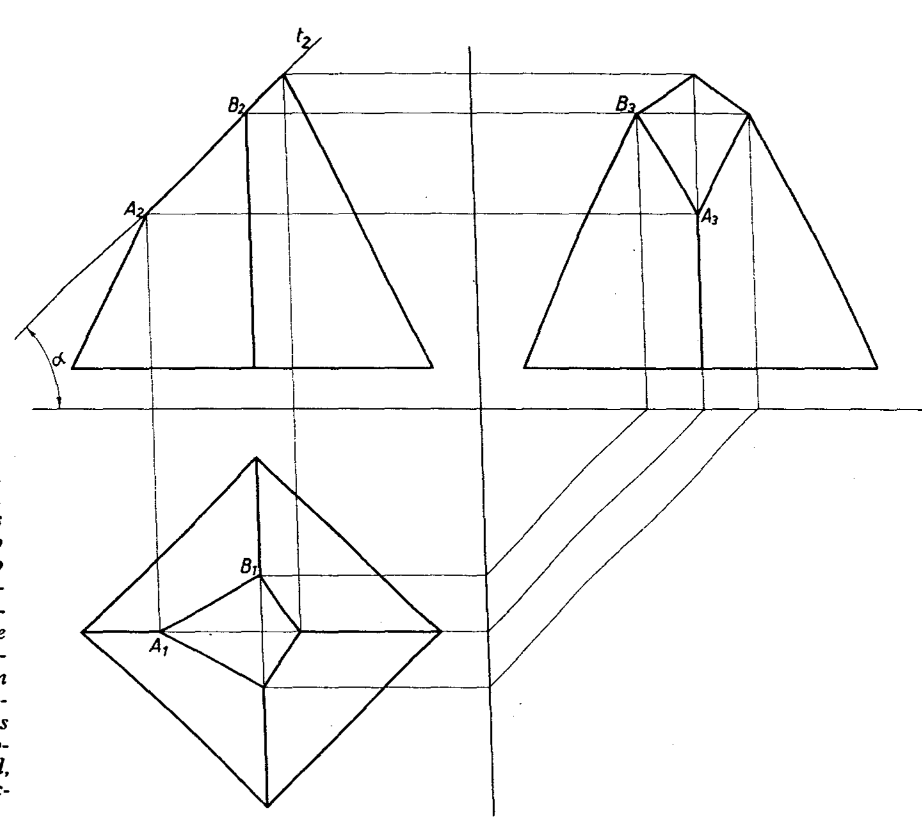


Fig. I, 270. Representación mediante las tres proyecciones de un tronco oblicuo de pirámide de base cuadrada, cuya base superior es perpendicular al plano del alzado y forma un ángulo α con el de la planta. *Este ejemplo y todos los que le siguen hasta la* figura I, 287 *no son, en rigor, verdaderas secciones; pero no hay una separación definida para diferenciarlas, por cuanto los sólidos representados en las* figuras I, 270-287 *se pueden considerar como secciones de sólidos a los que se ha quitado la porción cortada; y para representar sus tres proyecciones es preciso aplicar las reglas expuestas anteriormente para las secciones. También aquí, para más facilidad, se han señalado con letras las construcciones relativas a los puntos* A *y* B.

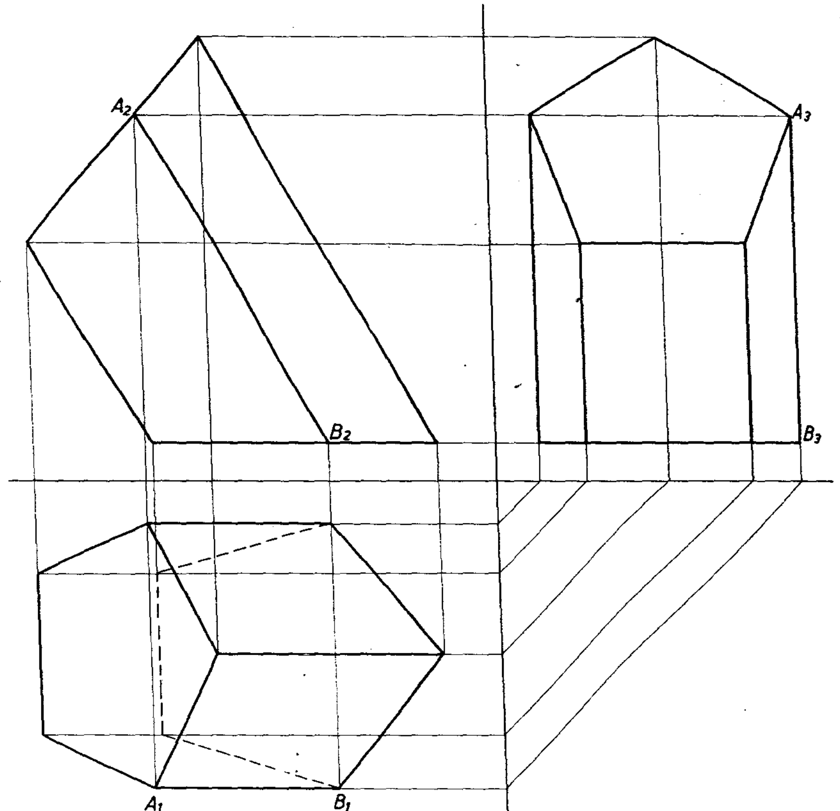


Fig. I, 271. Representación mediante las tres proyecciones de un tronco oblicuo de prisma de base pentagonal. *Aquí también se han señalado con letras las construcciones relativas a los puntos* A *y* B.

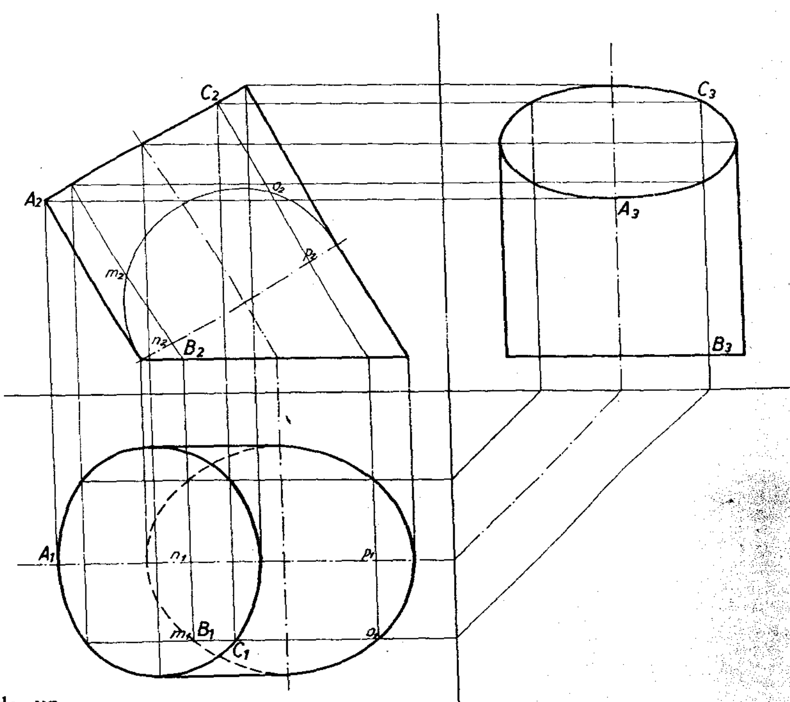
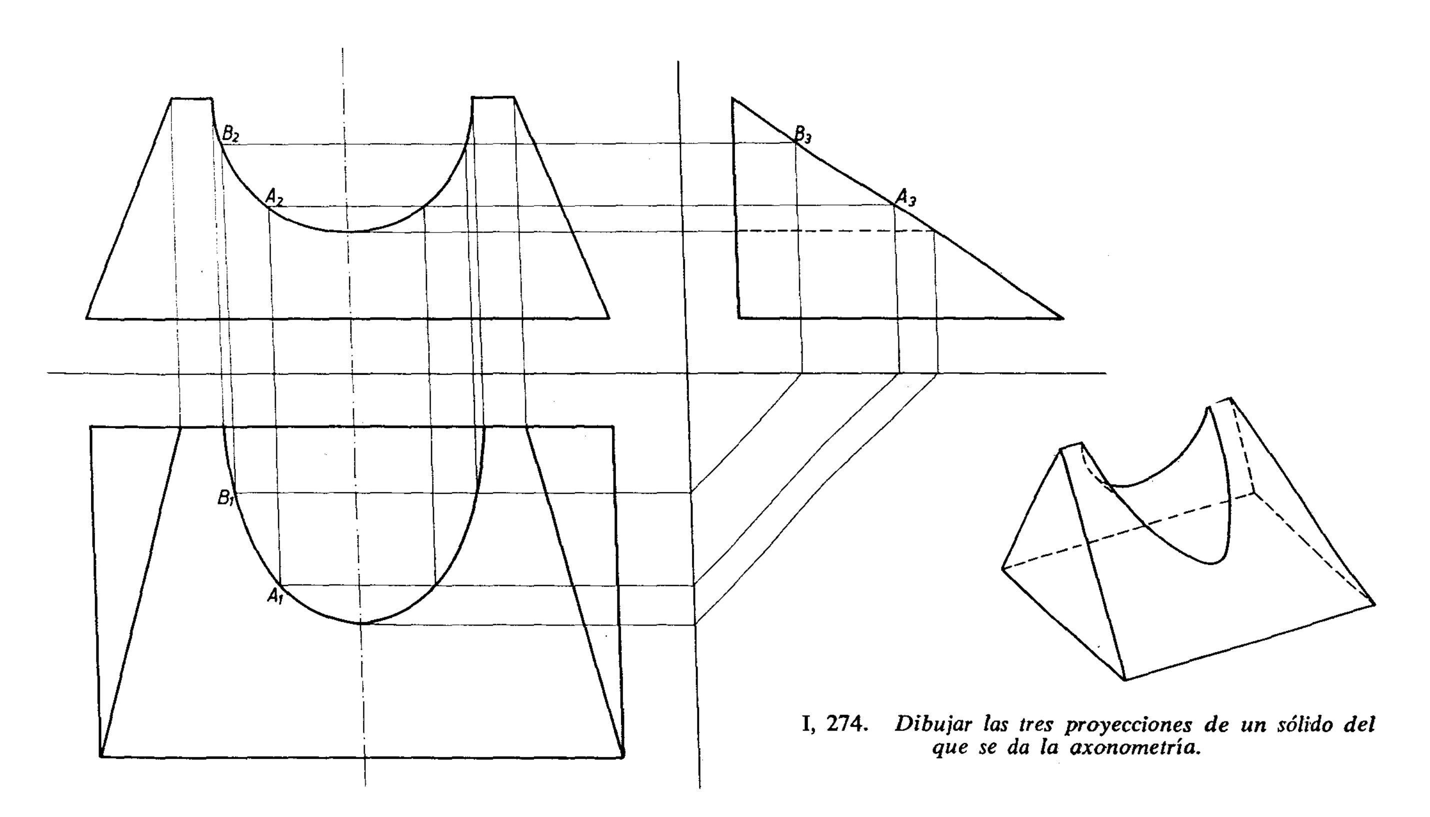


Fig. I, 272. Dibujar las tres proyecciones de un **cilindro oblicuo.**

Fig. I, 273. *Dibujar las tres proyecciones de un sólido representado en axonometría.*



I, 274. *Dibujar las tres proyecciones de un sólido del que se da la axonometría.*

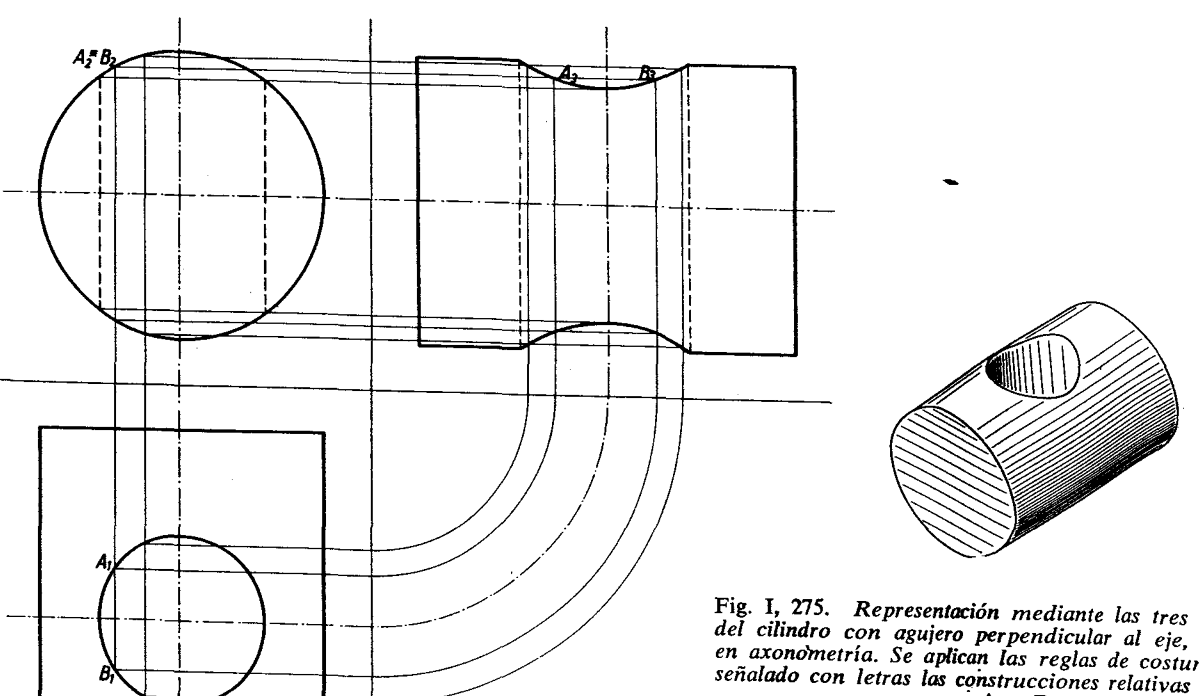
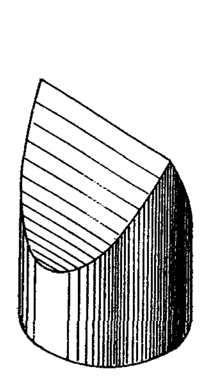


Fig. I, 275. *Representación mediante las tres proyecciones del cilindro con agujero perpendicular al eje, representado en axonometría. Se aplican las reglas de costumbre; se han señalado con letras las construcciones relativas a los puntos* **A *y* B.**



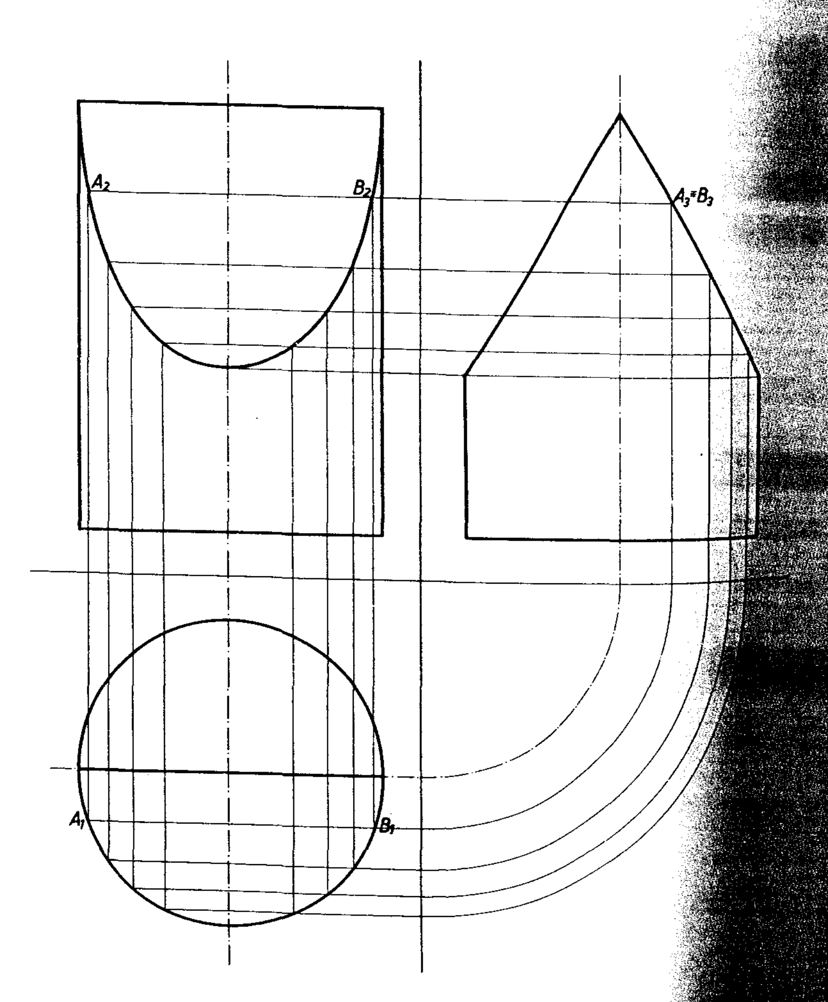
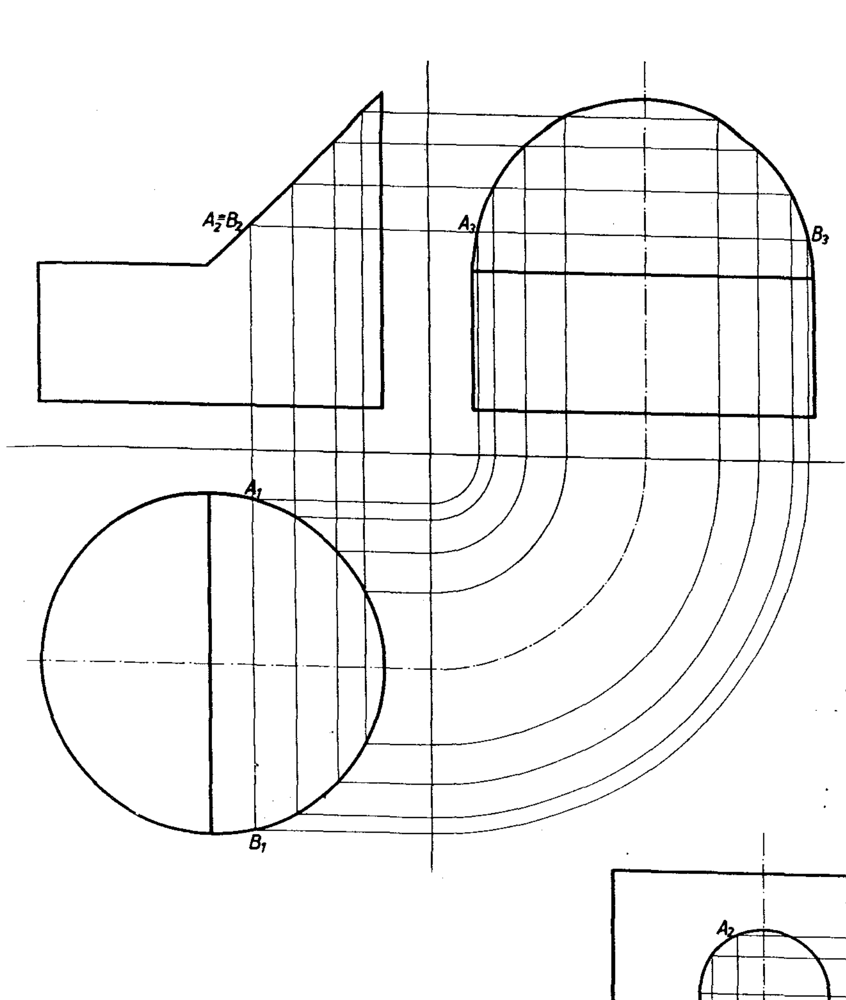


Fig. I, 276. *Representación mediante las tres proyecciones de un sólido del que se da una pequeña axonometría. Valen las observaciones expuestas en la figura anterior.*



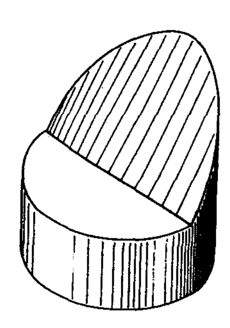
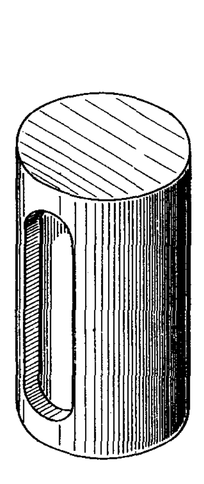


Fig. I, 277. *Representación mediante las tres proyecciones de un cilindro con corte ciego, representado en axonometría.*



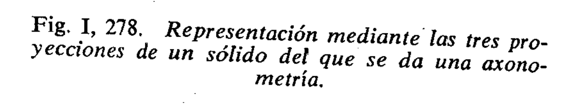
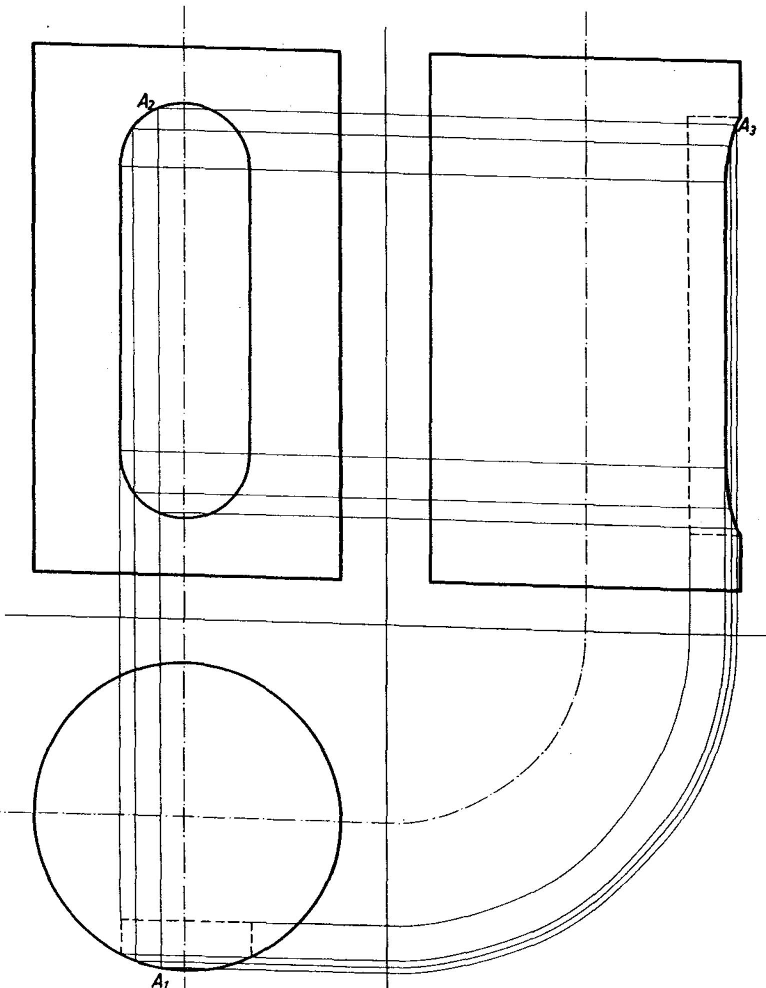


Fig. I, 278. *Representación mediante las tres proyecciones de un sólido del que se da una axonometría.*



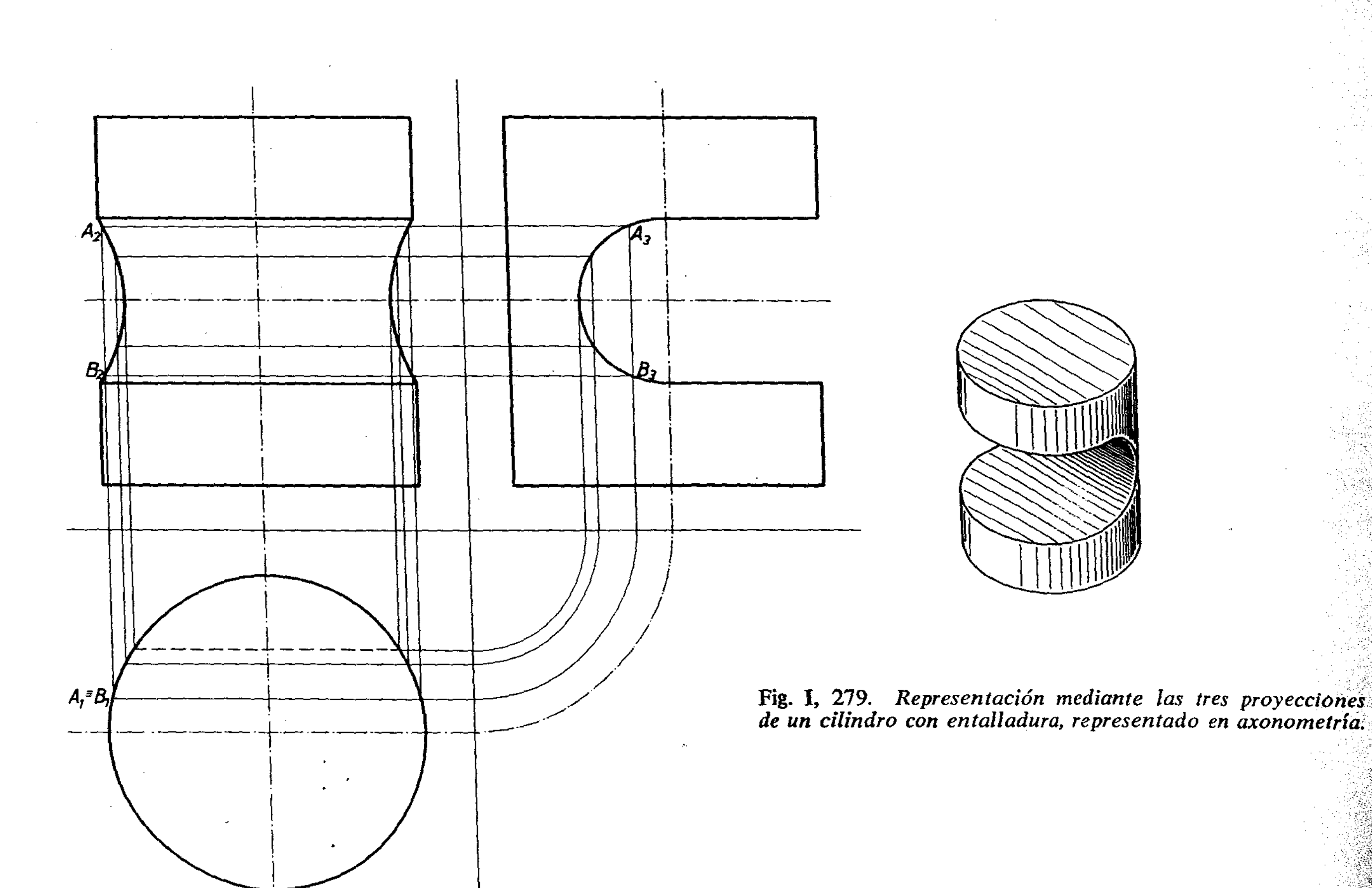


Fig. I, 279. *Representación mediante las tres proyecciones de un cilindro con entalladura, representado en axonometría.*

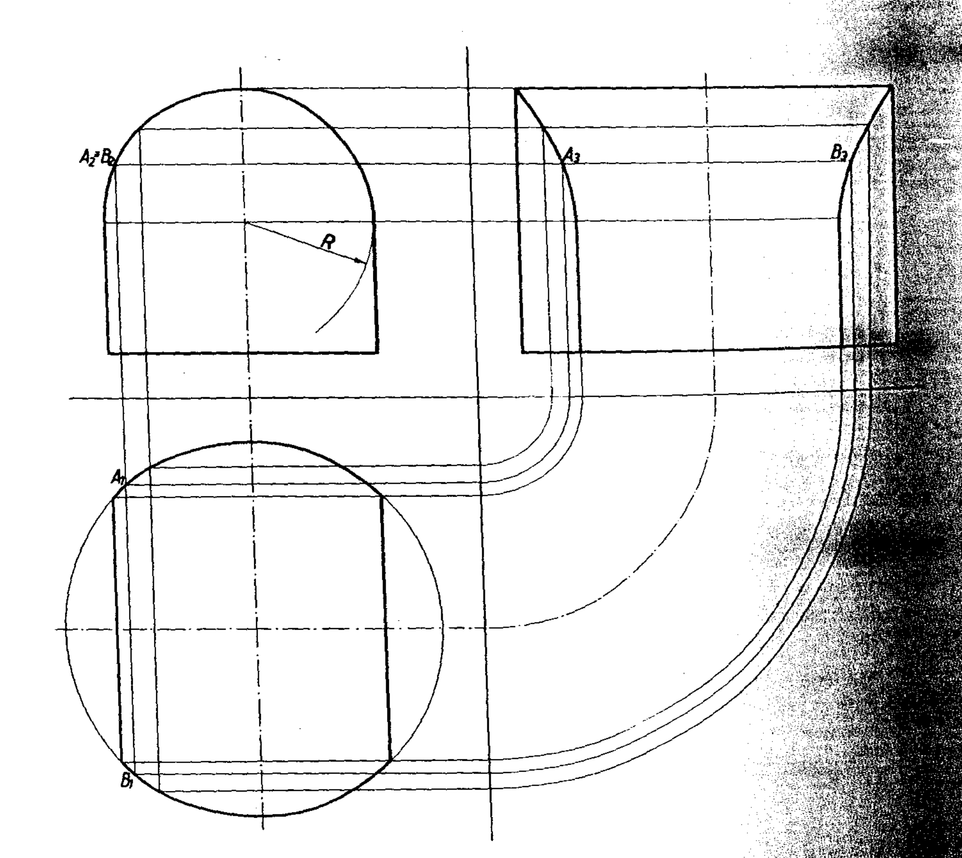


Fig. I, 280. *Representación mediante las tres proyecciones de un sólido del que se da una axonometría.*

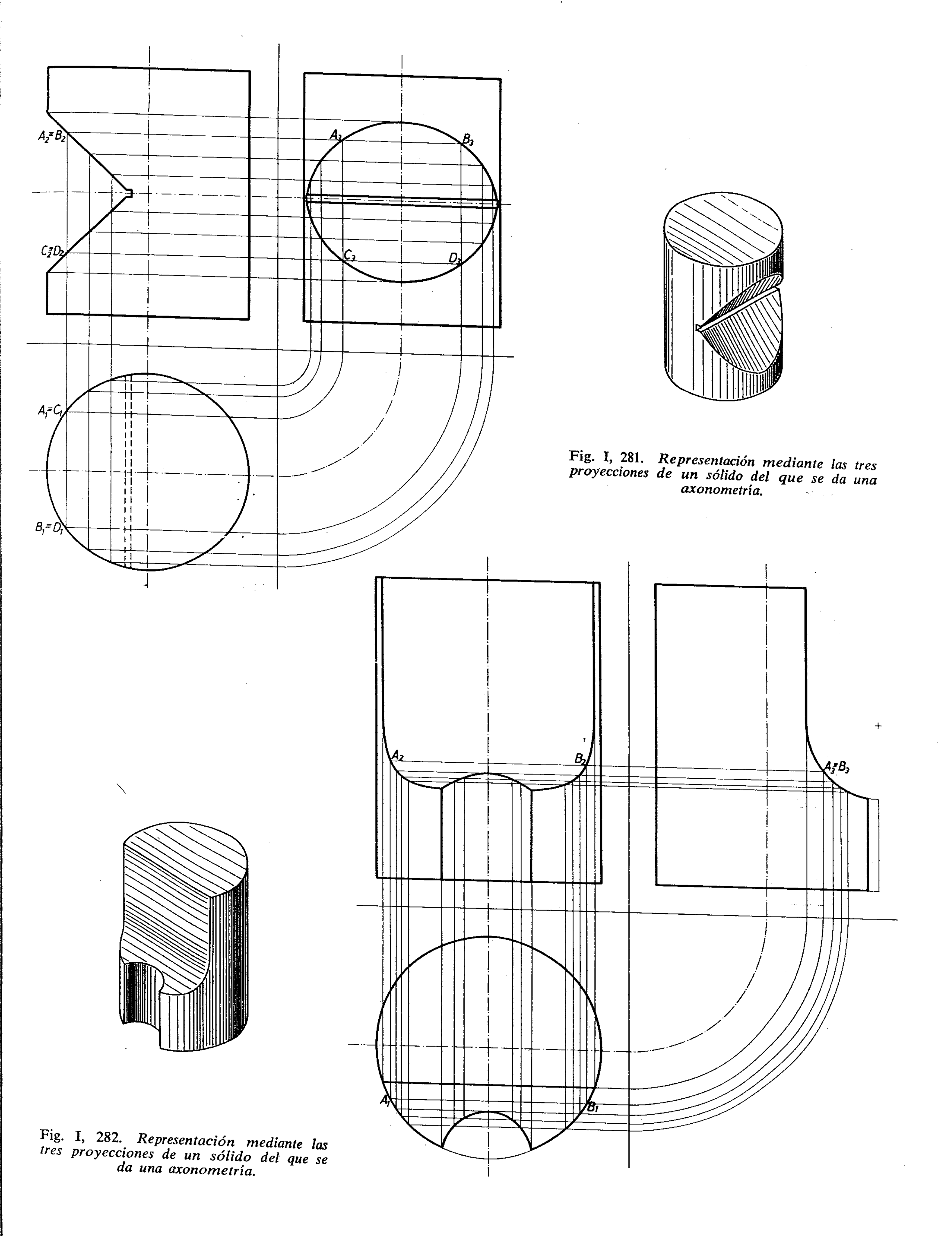


Fig. I, 281. *Representación mediante las tres proyecciones de un sólido del que se da una axonometría.*

Fig. I, 282. *Representación mediante las tres proyecciones de un sólido del que se da una axonometría.*

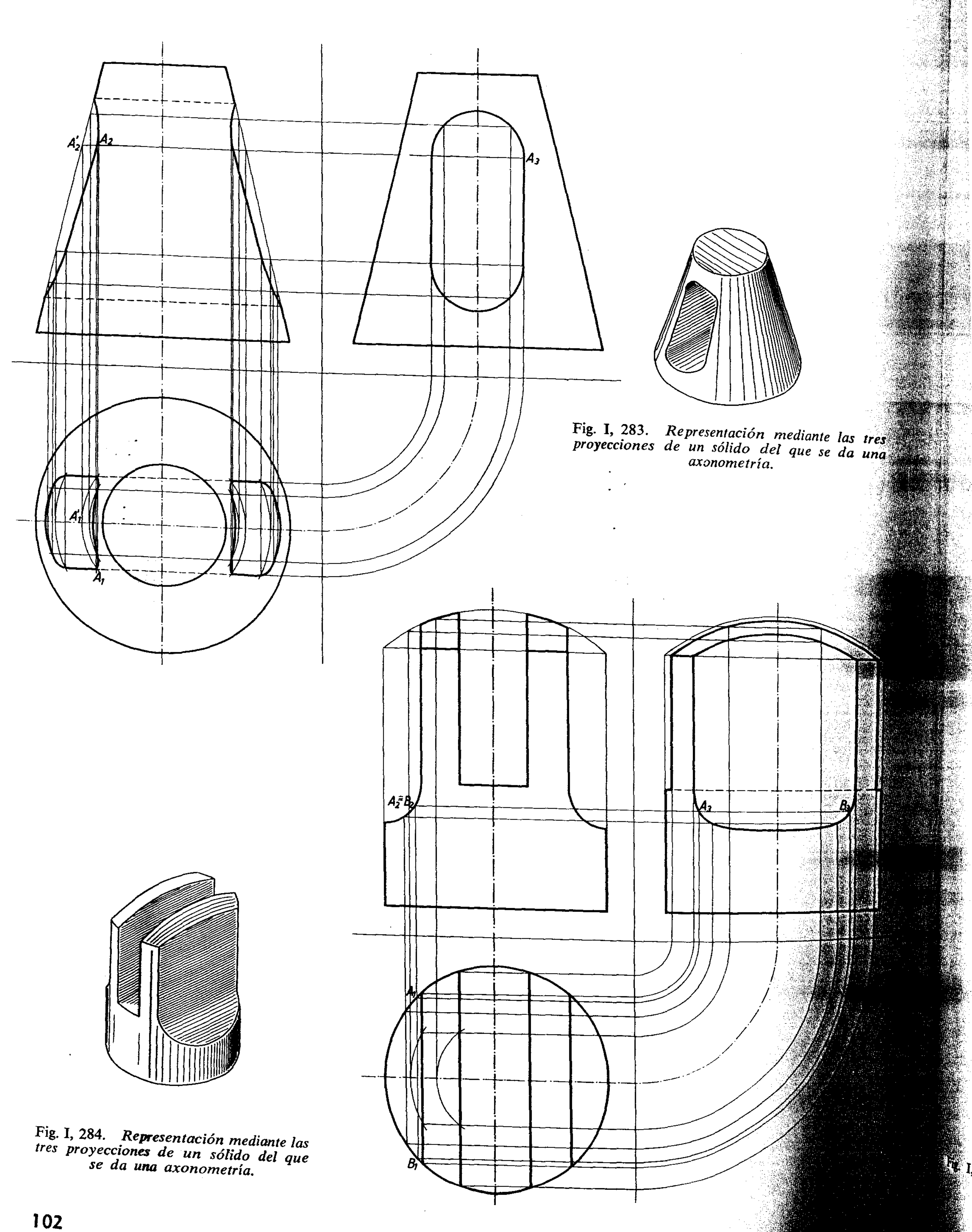
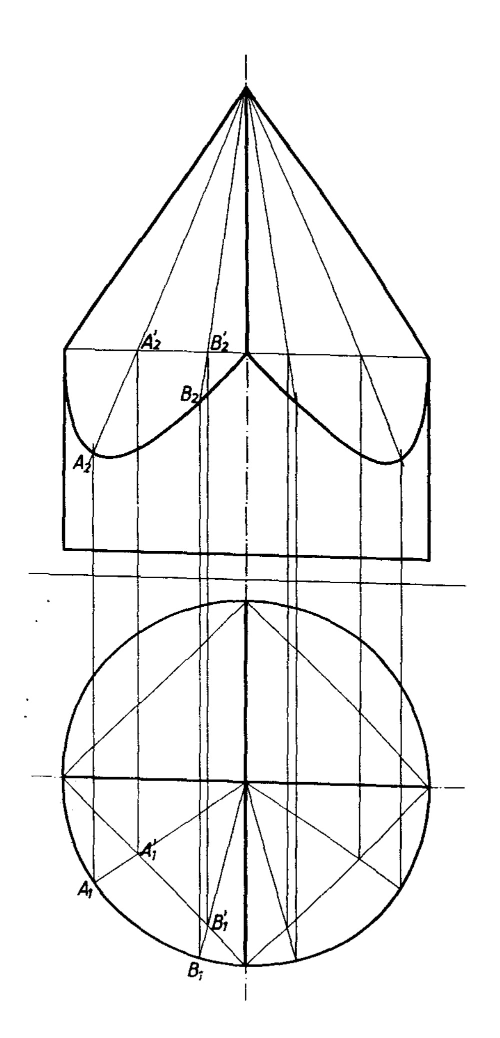
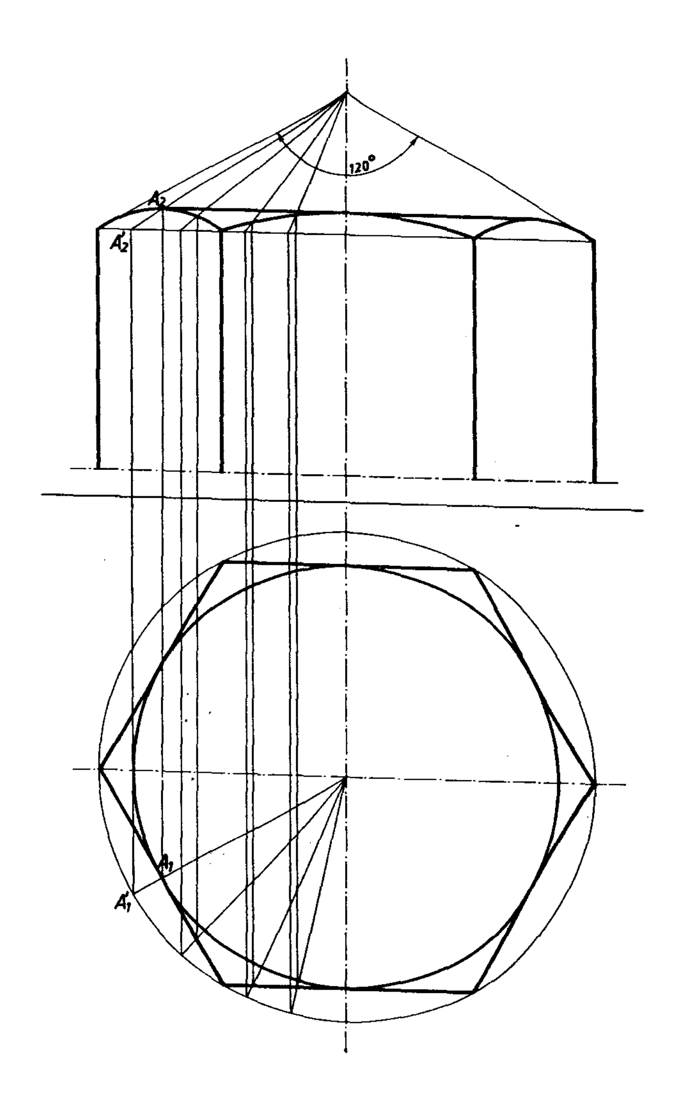
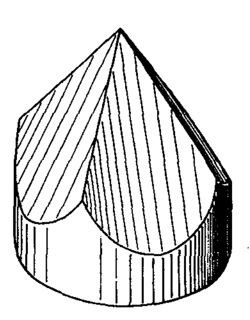


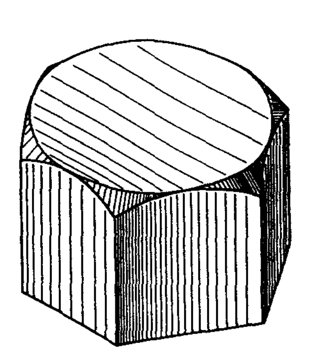
Fig. I, 283. *Representación mediante las tres proyecciones de un sólido del que se da una axonometría.*

Fig. I, 284. *Representación mediante las tres proyecciones de un sólido del que se da una axonometría.*









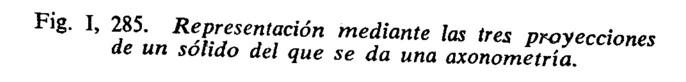

Fig. I, 285. *Representación mediante las tres proyecciones de un sólido del que se da una axonometría.*

Fig. I, 286. *Representación mediante las tres proyecciones de un sólido del que se da una axonometría.*

Fig. I, 287. *Representación mediante las tres proyecciones de un sólido del que se da una axonometría.*

Las consideraciones anteriores también se pueden aplicar, en caso necesario, a las representaciones axonométricas: en este caso se entiende, por lo general, que las piezas se cortan *con uno o más planos axiales* (figs. I, 289 y 290). Las secciones obtenidas con este sistema resultan muy claras y expresivas, como se ve en las figuras I, 291-299. *Los lectores que han comprendido suficientemente las nociones anteriormente explicadas, pueden ejercitarse con gran provecho en dibujar la representación con las tres proyecciones de las piezas cortadas representadas axonométricamente* en las figuras I, 289-299.

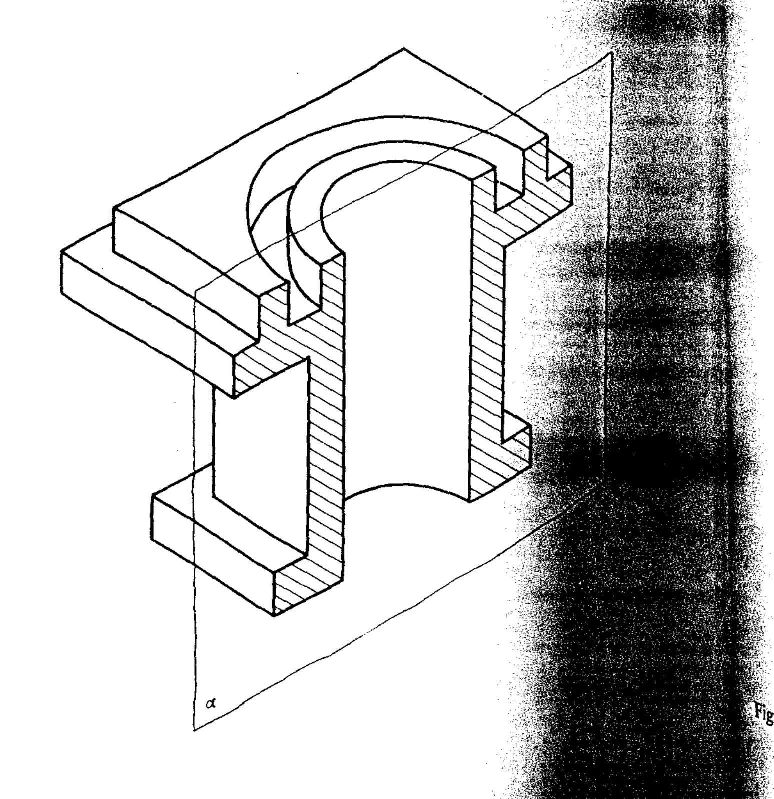


Fig. I, 288. ***Para ver la forma interior de una pieza hueca o su estructura, en el dibujo técnico se ha de dibujar la sección de la pieza, aun cuando se represente en axonometría. La sección se puede efectuar con un solo plano, como se ve en la figura, en la que el plano pasa por el eje de la pieza.***

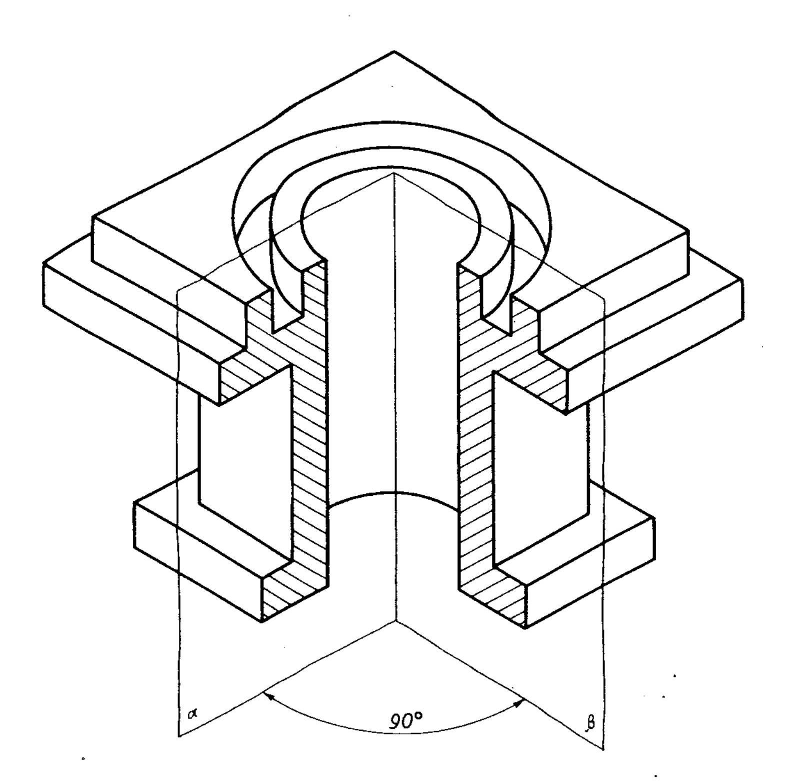


Fig. I, 289. *La sección de que se trata en la figura anterior se puede efectuar también con dos planos, generalmente en ángulo recto, axiales ambos, como indica esta figura. Se puede observar que tanto una como otra sección resultan suficientemente expresivas.*

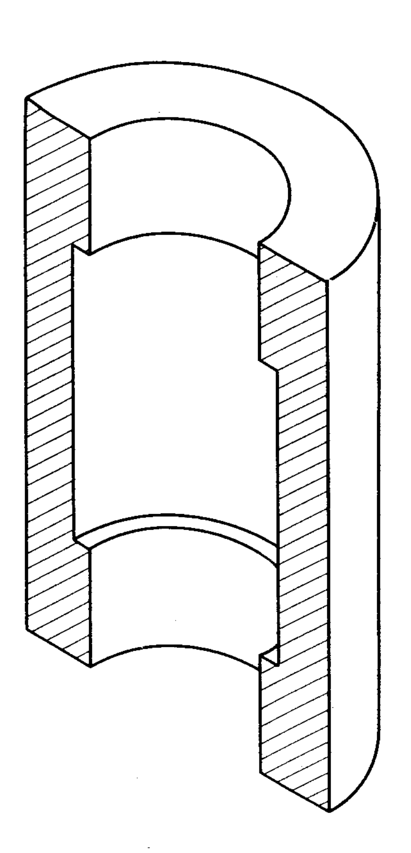


Fig. I, 291. *Sección axial de un casquillo cilíndrico que tiene un ensanchamiento interior.*

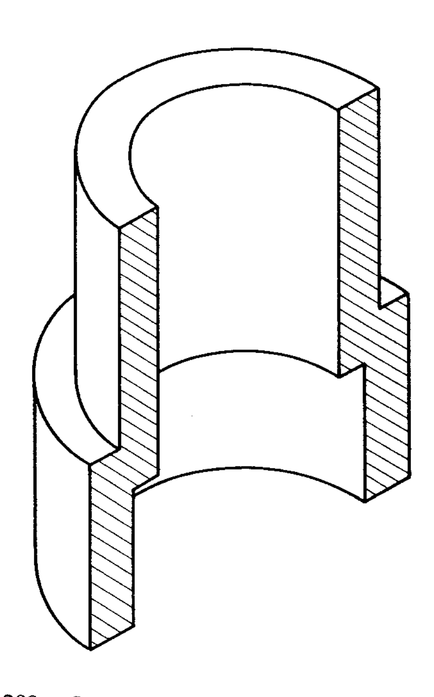


Fig. I, 290. *Sección axial de un casquillo cilíndrico.*

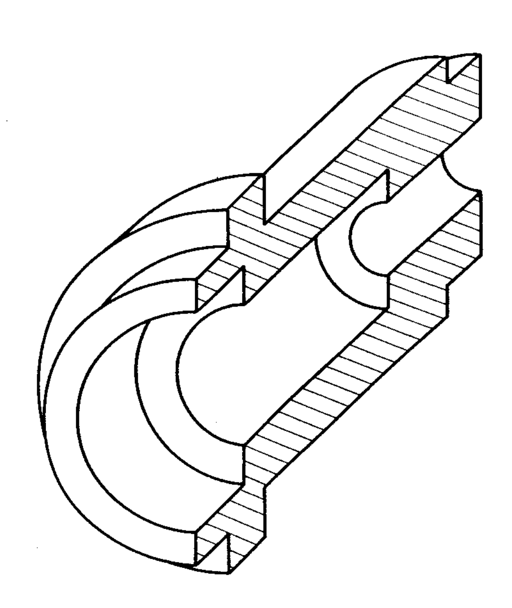


Fig. I, 292. *Sección axial de un casquillo con varias prolongaciones y nervios.*

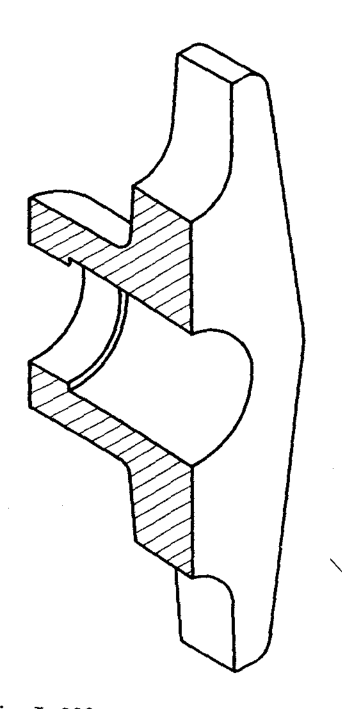


Fig. I, 293. *Sección axial de un manguito.*

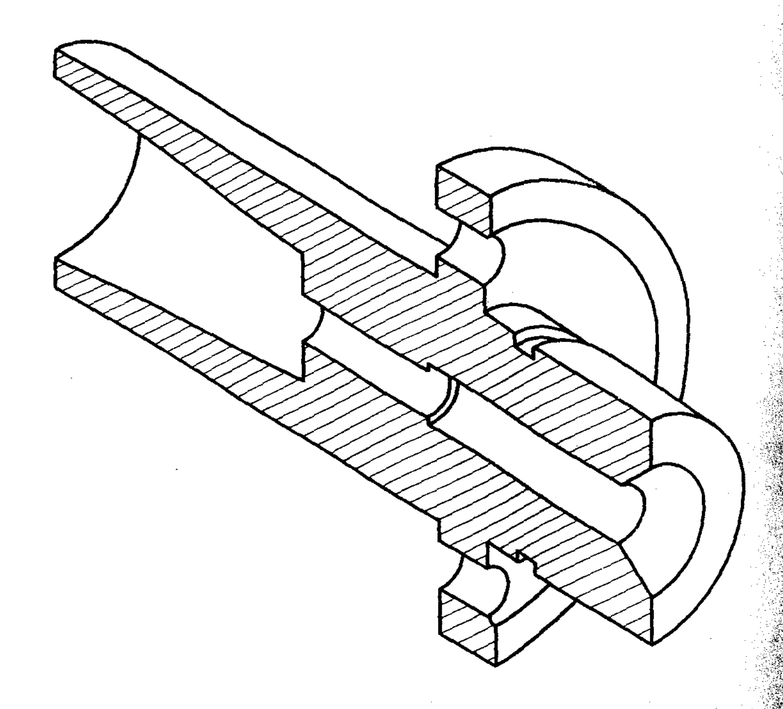


Fig. I, 294. *Sección axial de una pieza cilíndrica con muescas, prolongaciones, huecos cilíndricos y cónicos.*

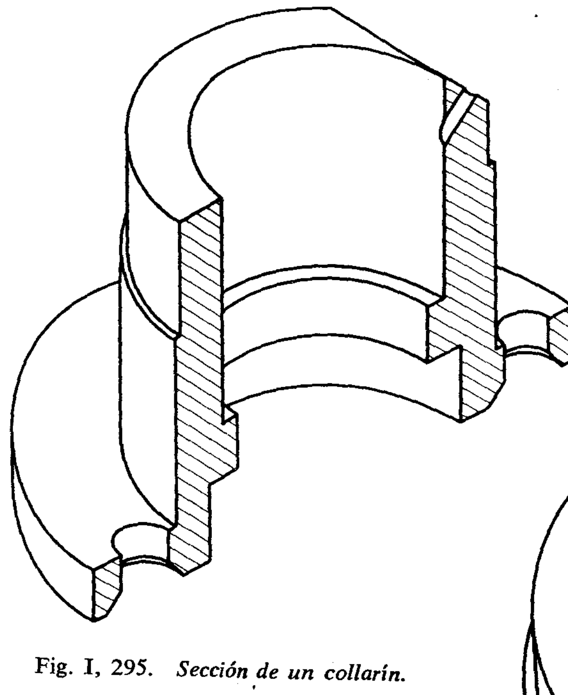


Fig. I, 295. *Sección de un collarín.*

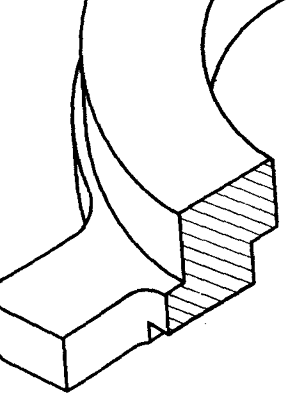


Fig. I, 296. *Sección axial de una abrazadera.*

I, 298.

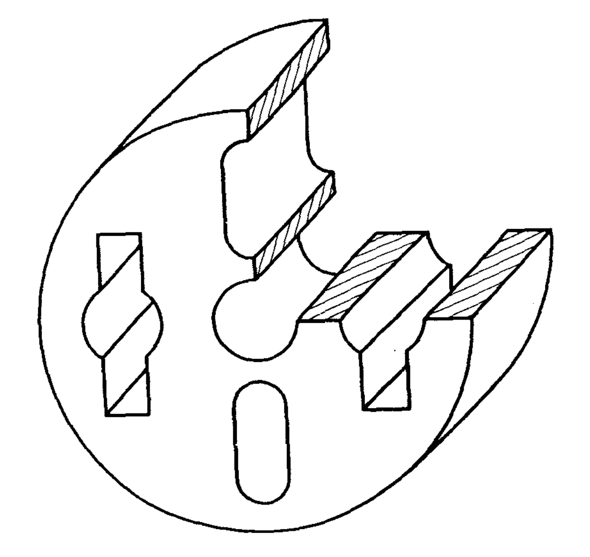


Fig. I, 297. *Sección de una polea con dos planos a 90°. Se observa en un sencillo examen de la figura que la elección de los dos planos cortantes a 90° ha originado una sección altamente expresiva.*

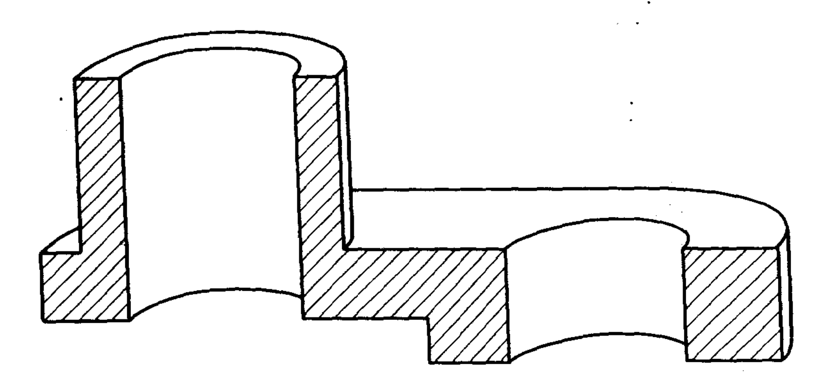


Fig. I, 299. *Sección axial de una pieza de soporte. En este caso la sección resulta muy evidente, a pesar de estar hecha con un solo plano.*

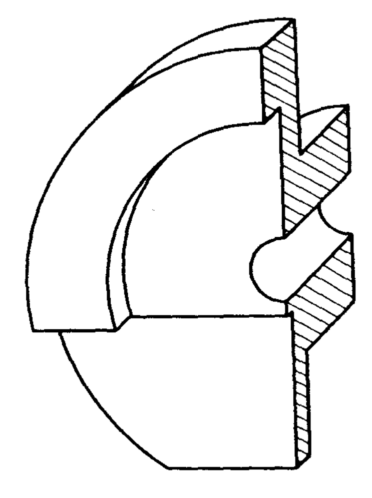


Fig. I, 298. *Sección axial de un elemento de una unión.*

37. Penetraciones de dos sólidos

Cuando un cuerpo sólido penetra dentro de otro, si se separa la parte de uno de los dos sólidos que resulta común a ambos, la penetración tiene lugar a lo largo de una *línea de intersección o de penetración*, que se puede determinar con las reglas aplicadas anteriormente para las intersecciones, pero teniendo presente solamente que la intersección no se efectúa con un plano, sino con otro cuerpo sólido.

En las figuras I, 300-310 se presentan algunos casos, bastante sencillos, de penetraciones, algunos de los cuales están tomados de aplicaciones mecánicas reales (grifería, mangos, mandriles, etcétera).

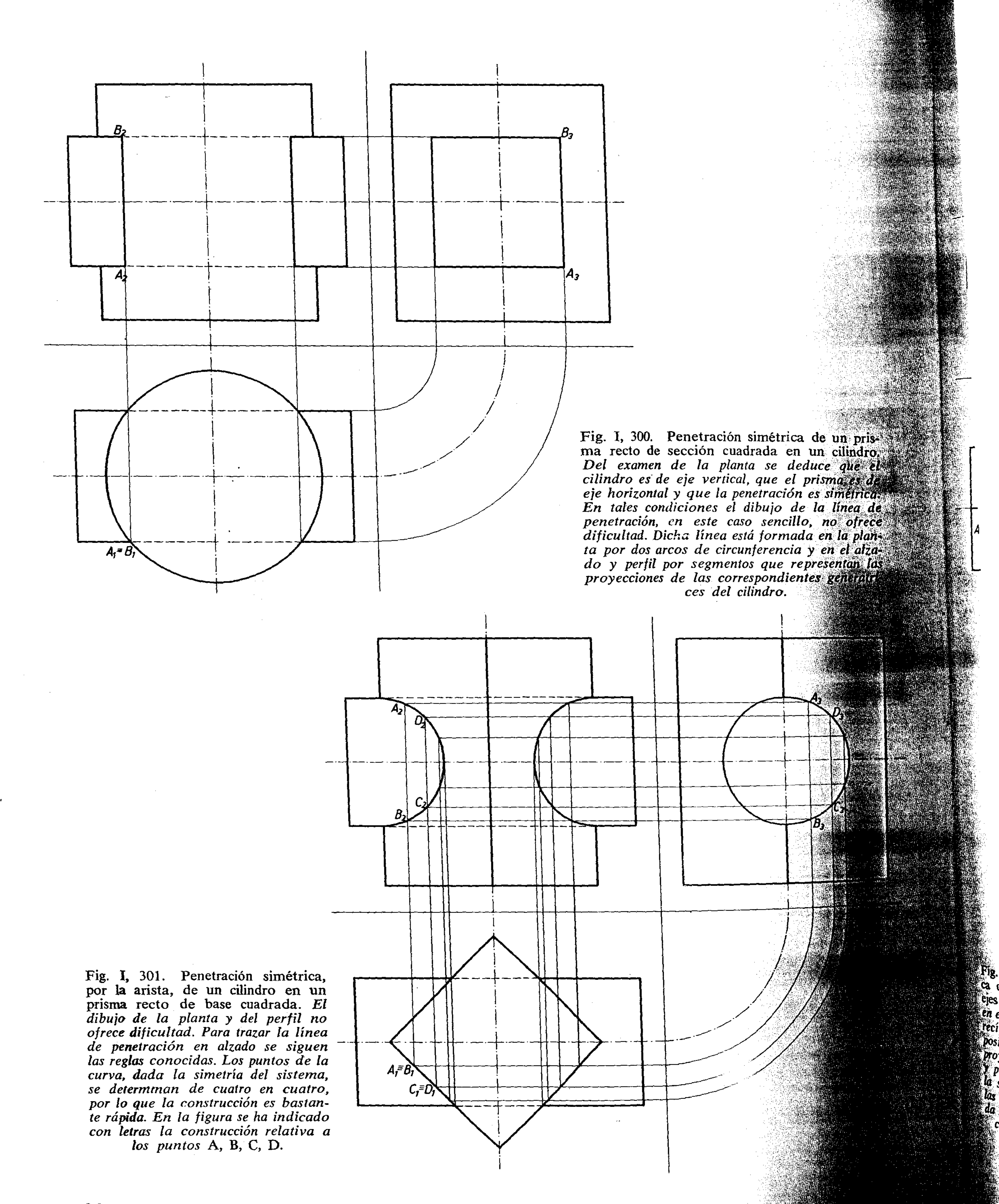


Fig. I, 300. Penetración simétrica de un prisma recto de sección cuadrada en un cilindro. *Del examen de la planta se deduce que el cilindro es de eje vertical, que el prisma es de eje horizontal y que la penetración es simétrica. En tales condiciones el dibujo de la línea de penetración, en este caso sencillo, no ofrece dificultad. Dicha línea está formada en la planta por dos arcos de circunferencia y en el alzado y perfil por segmentos que representan las proyecciones de las correspondientes generatrices del cilindro.*

Fig. I, 301. Penetración simétrica, por la arista, de un cilindro en un prisma recto de base cuadrada. *El dibujo de la planta y del perfil no ofrece dificultad. Para trazar la línea de penetración en alzado se siguen las reglas conocidas. Los puntos de la curva, dada la simetría del sistema, se determinan de cuatro en cuatro, por lo que la construcción es bastante rápida. En la figura se ha indicado con letras la construcción relativa a los puntos* A, B, C, D.

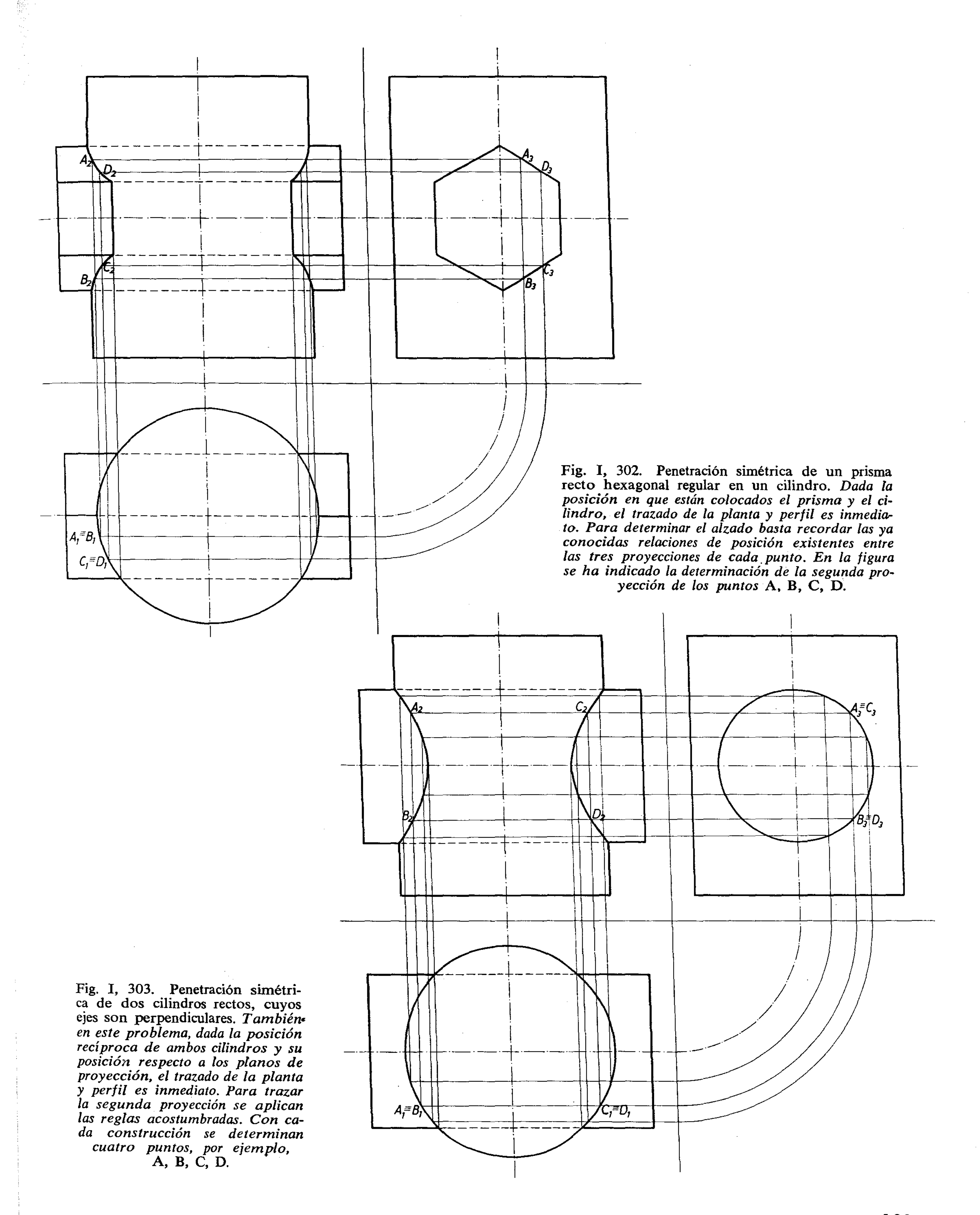


Fig. I, 302. Penetración simétrica de un prisma recto hexagonal regular en un cilindro. *Dada la posición en que están colocados el prisma y el cilindro, el trazado de la planta y perfil es inmediato. Para determinar el alzado basta recordar las ya conocidas relaciones de posición existentes entre las tres proyecciones de cada punto. En la figura se ha indicado la determinación de la segunda proyección de los puntos* A, B, C, D.

Fig. I, 303. Penetración simétrica de dos cilindros rectos, cuyos ejes son perpendiculares. *También en este problema, dada la posición recíproca de ambos cilindros y su posición respecto a los planos de proyección, el trazado de la planta y perfil es inmediato. Para trazar la segunda proyección se aplican las reglas acostumbradas. Con cada construcción se determinan cuatro puntos, por ejemplo,* A, B, C, D.

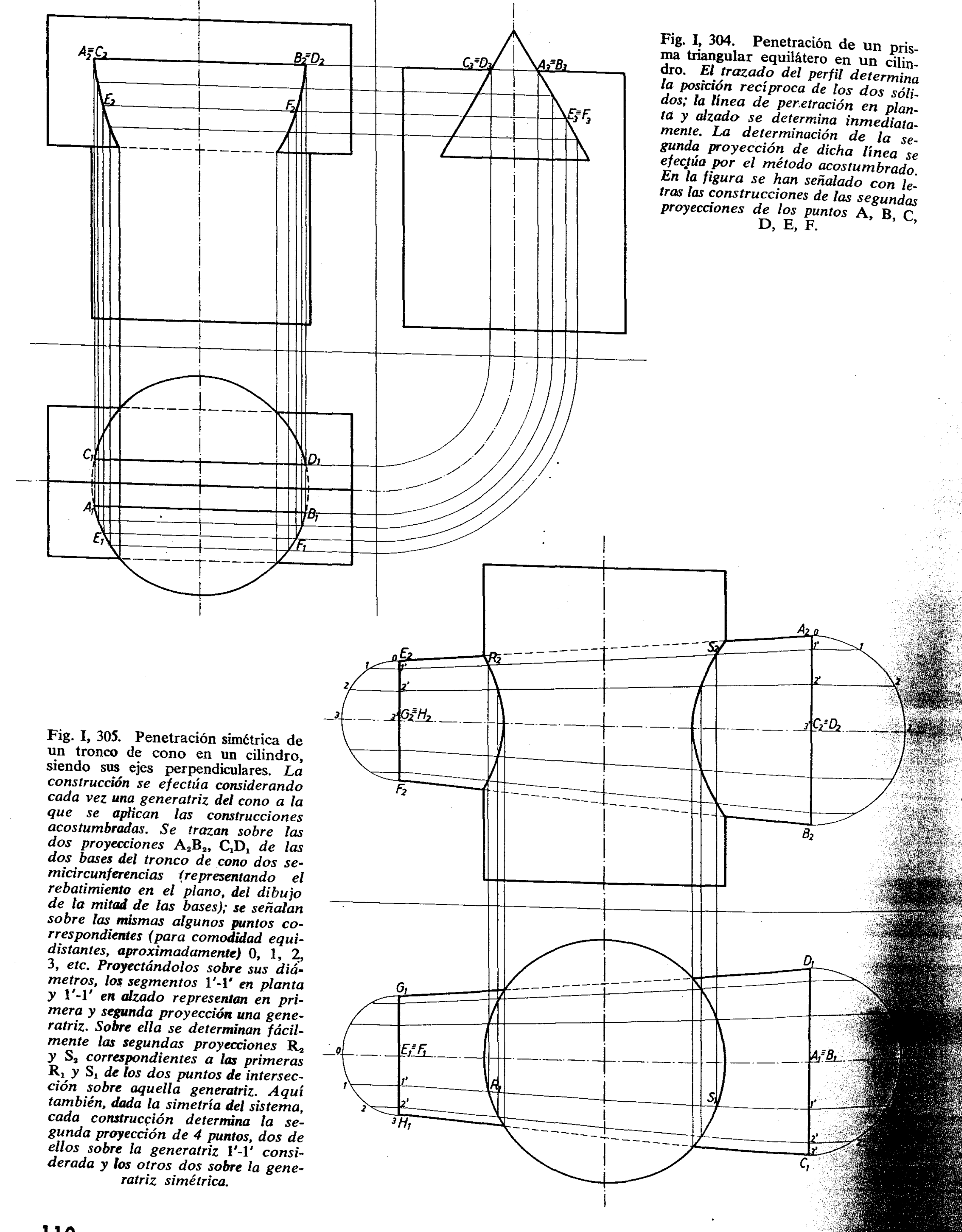


Fig. I, 304. Penetración de un prisma triangular equilátero en un cilindro. *El trazado del perfil determina la posición recíproca de los dos sólidos; la línea de penetración en planta y alzado se determina inmediatamente. La determinación de la segunda proyección de dicha línea se efectúa por el método acostumbrado. En la figura se han señalado con letras las construcciones de las segundas proyecciones de los puntos* A, B, C, D, E, F.

Fig. I, 305. Penetración simétrica de un tronco de cono en un cilindro, siendo sus ejes perpendiculares. *La construcción se efectúa considerando cada vez una generatriz del cono a la que se aplican las construcciones acostumbradas. Se trazan sobre las dos proyecciones* A_2B_2, C_1D_1 *de las dos bases del tronco de cono dos semicircunferencias (representando el rebatimiento en el plano, del dibujo de la mitad de las bases); se señalan sobre las mismas algunos puntos correspondientes (para comodidad equidistantes, aproximadamente)* 0, 1, 2, 3, *etc. Proyectándolos sobre sus diámetros, los segmentos* 1'-1' *en planta y* 1'-1' *en alzado representan en primera y segunda proyección una generatriz. Sobre ella se determinan fácilmente las segundas proyecciones* R_2 *y* S_2 *correspondientes a las primeras* R_1 *y* S_1 *de los dos puntos de intersección sobre aquella generatriz. Aquí también, dada la simetría del sistema, cada construcción determina la segunda proyección de 4 puntos, dos de ellos sobre la generatriz* 1'-1' *considerada y los otros dos sobre la generatriz simétrica.*

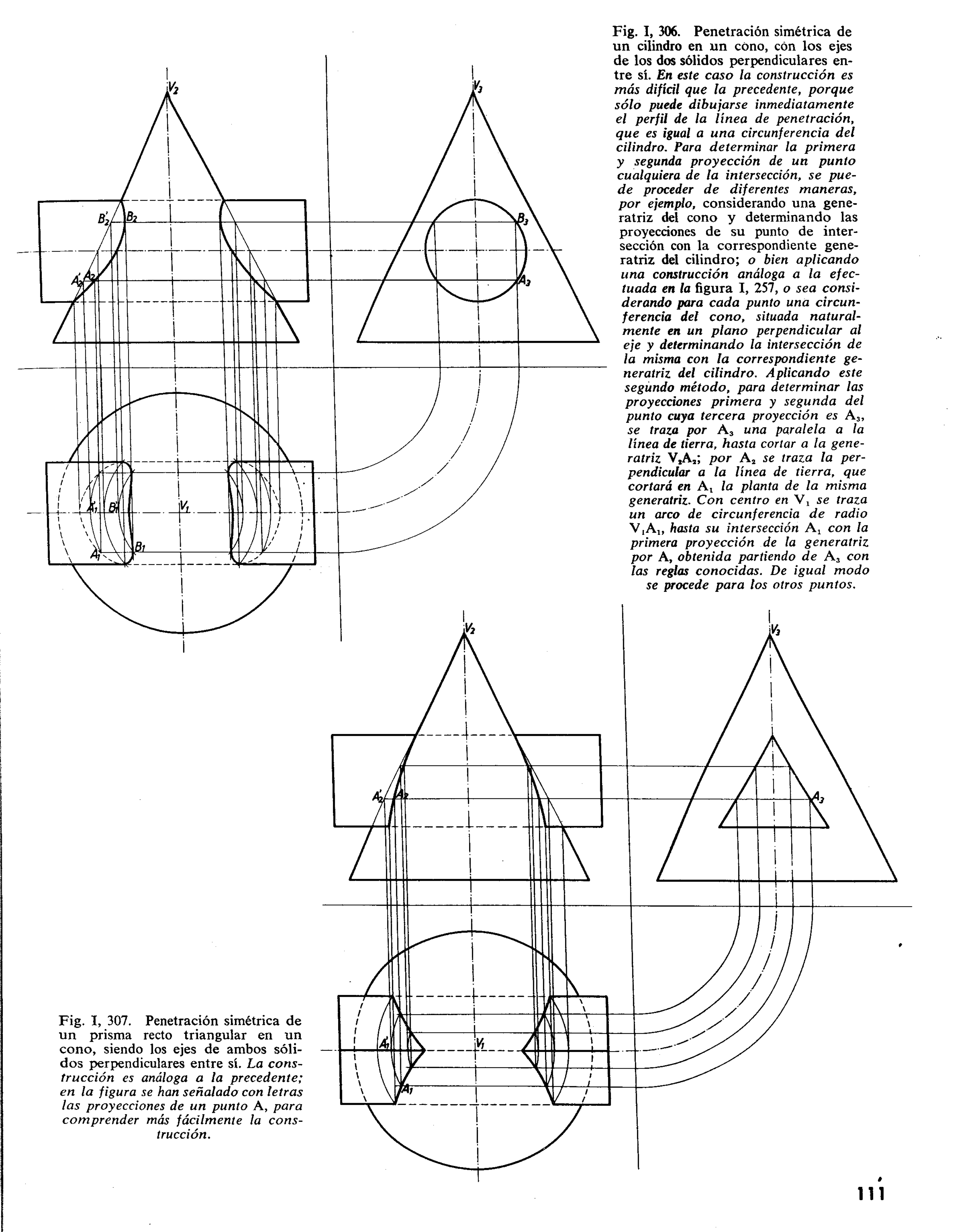


Fig. I, 306. Penetración simétrica de un cilindro en un cono, con los ejes de los dos sólidos perpendiculares entre sí. *En este caso la construcción es más difícil que la precedente, porque sólo puede dibujarse inmediatamente el perfil de la línea de penetración, que es igual a una circunferencia del cilindro. Para determinar la primera y segunda proyección de un punto cualquiera de la intersección, se puede proceder de diferentes maneras, por ejemplo,* considerando una generatriz del cono y determinando las proyecciones de su punto de intersección con la correspondiente generatriz del cilindro; *o bien aplicando una construcción análoga a la efectuada en la* figura I, 257, *o sea considerando para cada punto una circunferencia del cono, situada naturalmente en un plano perpendicular al eje y determinando la intersección de la misma con la correspondiente generatriz del cilindro. Aplicando este segundo método, para determinar las proyecciones primera y segunda del punto cuya tercera proyección es* A_3, *se traza por* A_3 *una paralela a la línea de tierra, hasta cortar a la generatriz* V_2A_2; *por* A_2 *se traza la perpendicular a la línea de tierra, que cortará en* A_1 *la planta de la misma generatriz. Con centro en* V_1 *se traza un arco de circunferencia de radio* V_1A_1, *hasta su intersección* A_1 *con la primera proyección de la generatriz por* A, *obtenida partiendo de* A_3 *con las reglas conocidas. De igual modo se procede para los otros puntos.*

Fig. I, 307. Penetración simétrica de un prisma recto triangular en un cono, siendo los ejes de ambos sólidos perpendiculares entre sí. *La construcción es análoga a la precedente; en la figura se han señalado con letras las proyecciones de un punto* A, *para comprender más fácilmente la construcción.*

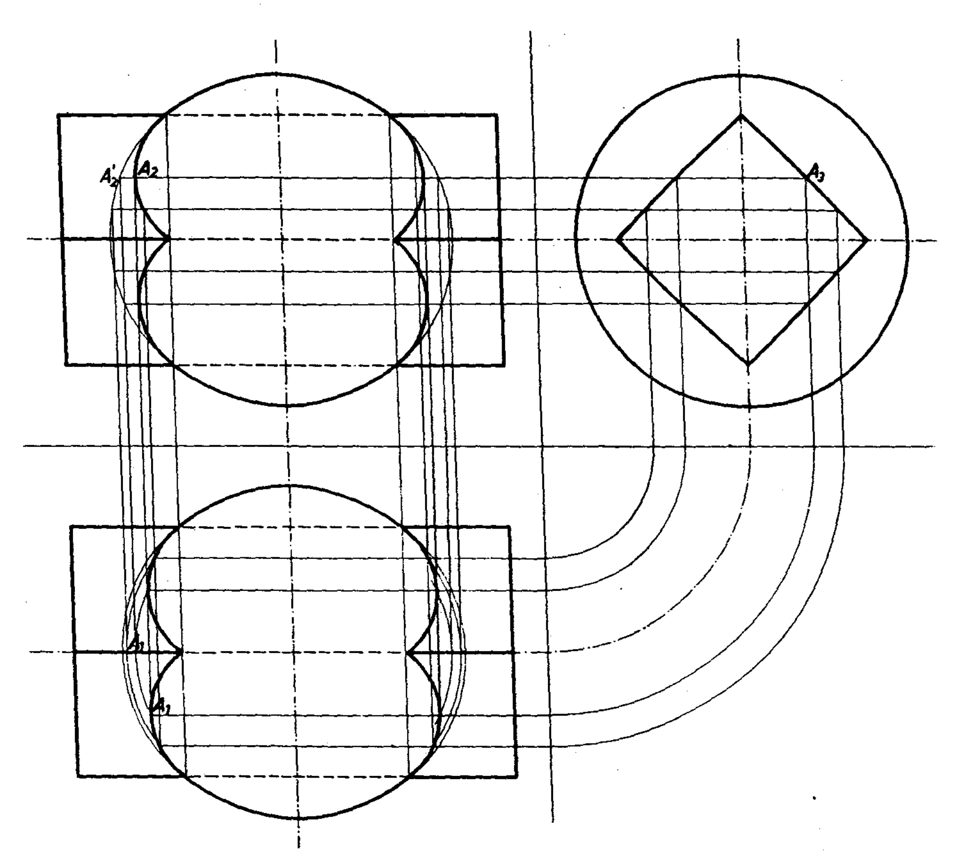


Fig. I, 308. Penetración simétrica de un prisma recto de base cuadrada en una esfera. *Aquí también, trazada la tercera proyección, de ejecución inmediata, se determinan las otras dos proyecciones de la línea de penetración aplicando la misma construcción indicada en las dos figuras anteriores, pero siendo sustituido el cono por la esfera. Se ha señalado con letras la construcción correspondiente al punto* A.

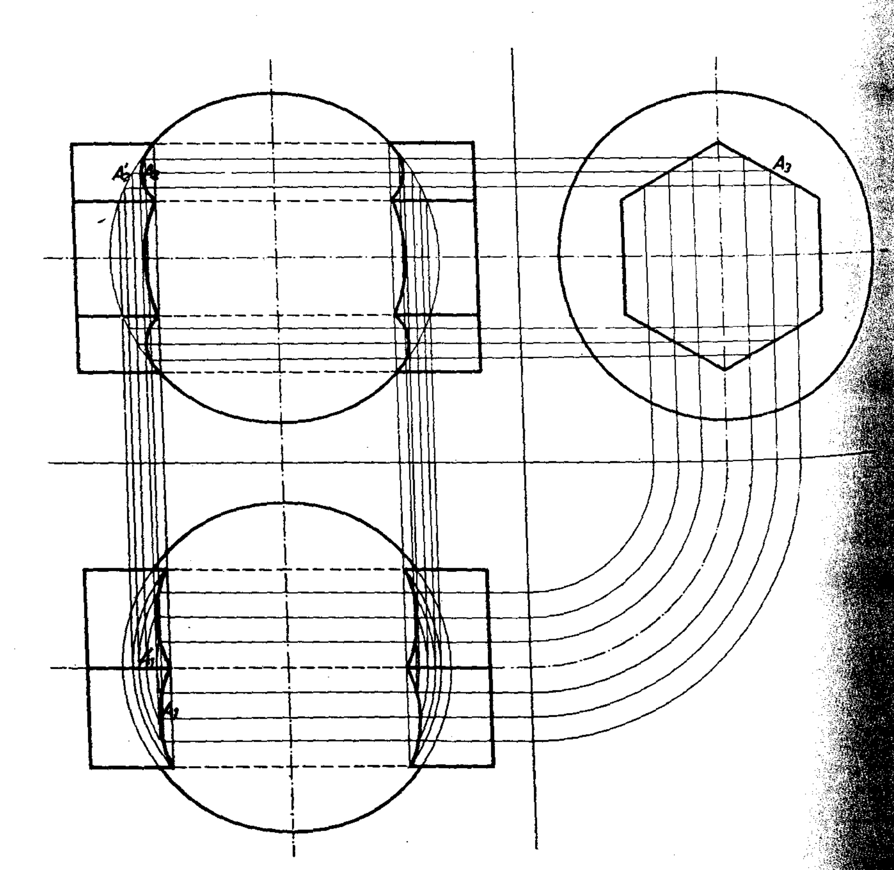


Fig. I, 309. Penetración simétrica de un prisma recto hexagonal en una esfera. *La construcción es análoga a la de la figura precedente. Se parte de la tercera proyección, de ejecución inmediata. Se ha señalado con letras la construcción correspondiente al punto* A.

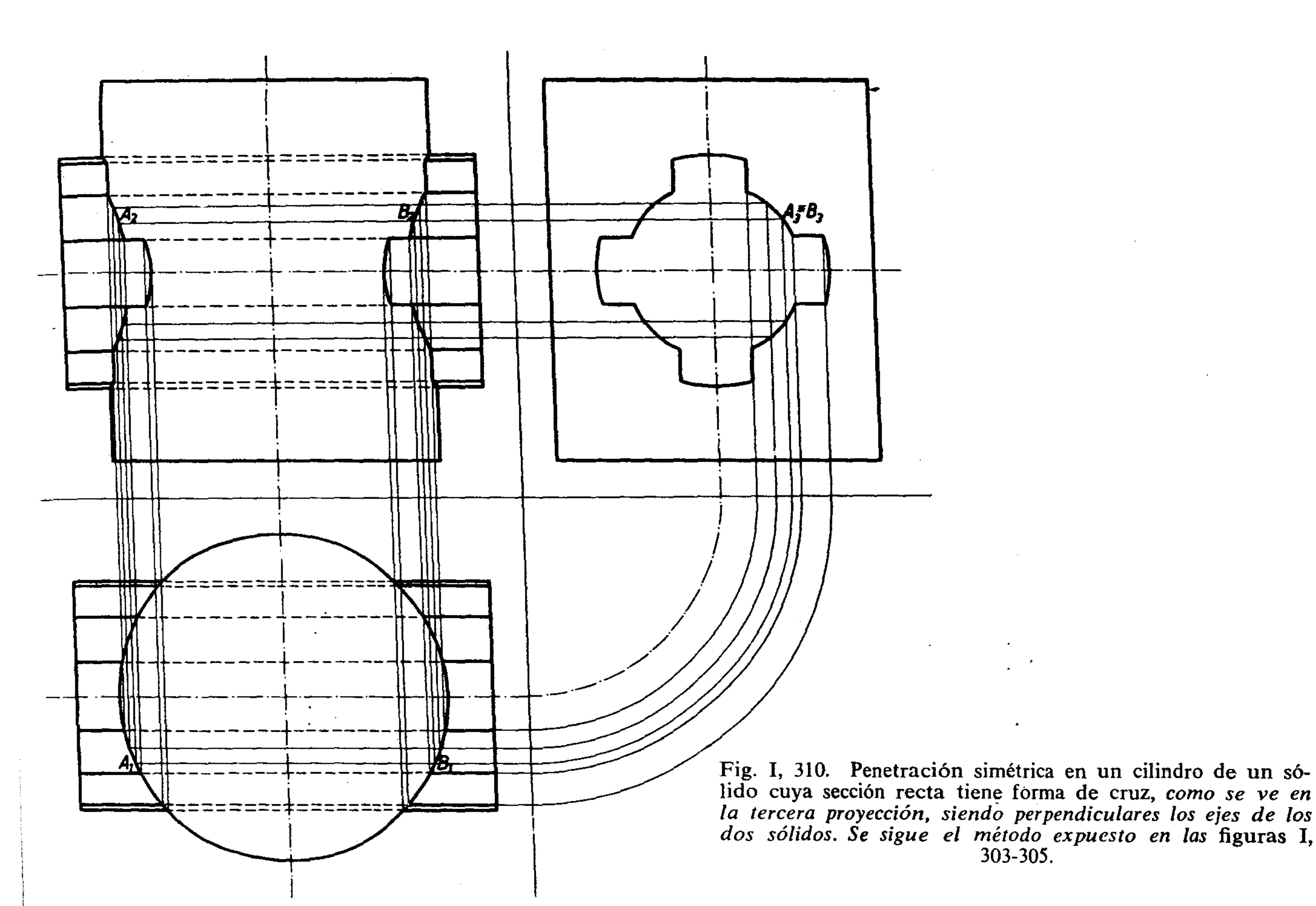


Fig. I, 310. Penetración simétrica en un cilindro de un sólido cuya sección recta tiene forma de cruz, *como se ve en la tercera proyección, siendo perpendiculares los ejes de los dos sólidos. Se sigue el método expuesto en las* figuras I, 303-305.

DESARROLLO DE LOS SÓLIDOS

38. Generalidades

Un capítulo estrechamente relacionado con el de las penetraciones es el del **desarrollo de los sólidos.** Tiene muchísima importancia en diversas ramas de la técnica y en muchos oficios, principalmente en los que trabajan con chapas (hojalateros, etcétera).

El problema en líneas generales es el siguiente: dado un cuerpo sólido de cualquier forma, desarrollarlo, *siempre que sea posible,* en un plano, es decir, abrir su superficie con el menor número posible de cortes y extenderla sobre un plano.

Este problema se presenta, por ejemplo, al hojalatero que haya de construir una tubería con varias derivaciones que formen ángulos determinados.

Ya se ha presentado en capítulos anteriores un problema de desarrollo, aunque no se haya llamado especialmente la atención sobre el mismo; y ha sido cuando se ha tenido que extender sobre un plano la caja sobre cuyas paredes interiores se han efectuado las seis proyecciones de un objeto (fig. I, 147).

Se ha dicho, al presentar este problema, «*siempre que sea posible*». Efectivamente, sólo las superficies de algunos sólidos (poliedros, sólidos derivados del cilindro y del cono) son desarrollables en sentido estricto. Pero todas las demás superficies (esféricas, de formas diversas, por ejemplo de silla, de anillo, etc.) no se pueden desarrollar con exactitud; aunque es posible, conformándose con cierta aproximación, realizar también para estas últimas superficies desarrollos que correspondan *aproximadamente* a los de los sólidos propuestos.

Todos los desarrollos se han de efectuar teniendo presente la característica fundamental de los desarrollos: es decir, que *los lados correspondientes de los polígonos o de las figuras geométricas que se obtengan en el desarrollo, mediante cortes de la superficie de un sólido* **han de ser de la misma longitud.** Y todas las construcciones, desde la más sencilla hasta la más complicada, no son más que aplicaciones de esta consideración fundamental.

39. Aplicaciones

En las primeras ocho figuras (figs. 311-318) se indica la construcción del desarrollo de algunos sólidos geométricos sencillos.

En las figuras que siguen se resuelven interesantes problemas de desarrollo, relacionados todos ellos con aplicaciones prácticas efectivas. Para mayor claridad, junto a cada dibujo se ha colocado una pequeña axonometría que representa con gran claridad la superficie que se ha de desarrollar; y las construcciones están explicadas con todo detalle en la leyenda que acompaña a cada una de las siguientes figuras, desde la I, 319 a la 330.

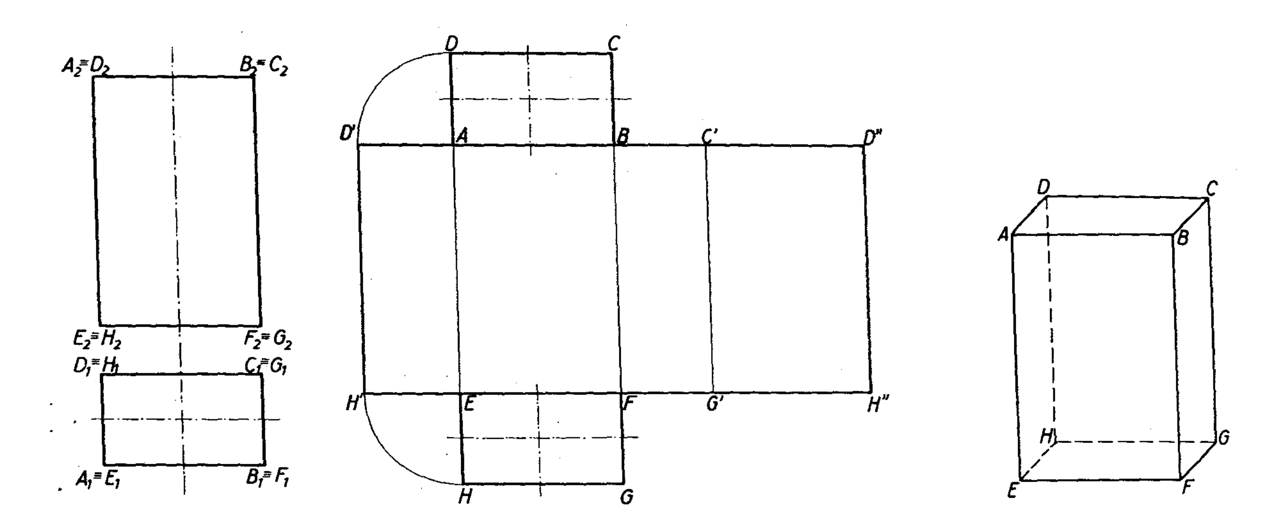


Fig. I, 311. Desarrollo de un paralelepípedo recto de base rectangular. *La superficie del paralelepípedo se ha cortado a lo largo de las aristas* AD, DC, CB, DH, HG, GF, EH. *Las 6 caras, que son 6 rectángulos, se ven, después del desarrollo, en la posición representada en la figura, en la que se han puesto todas las letras de referencia, con la advertencia de que los signos ', '', ''', etc., puestos junto a una misma letra, sirven para tener presente que todos los puntos señalados con la misma letra, cuando la superficie no estaba aún desarrollada, coincidían en un mismo vértice.*

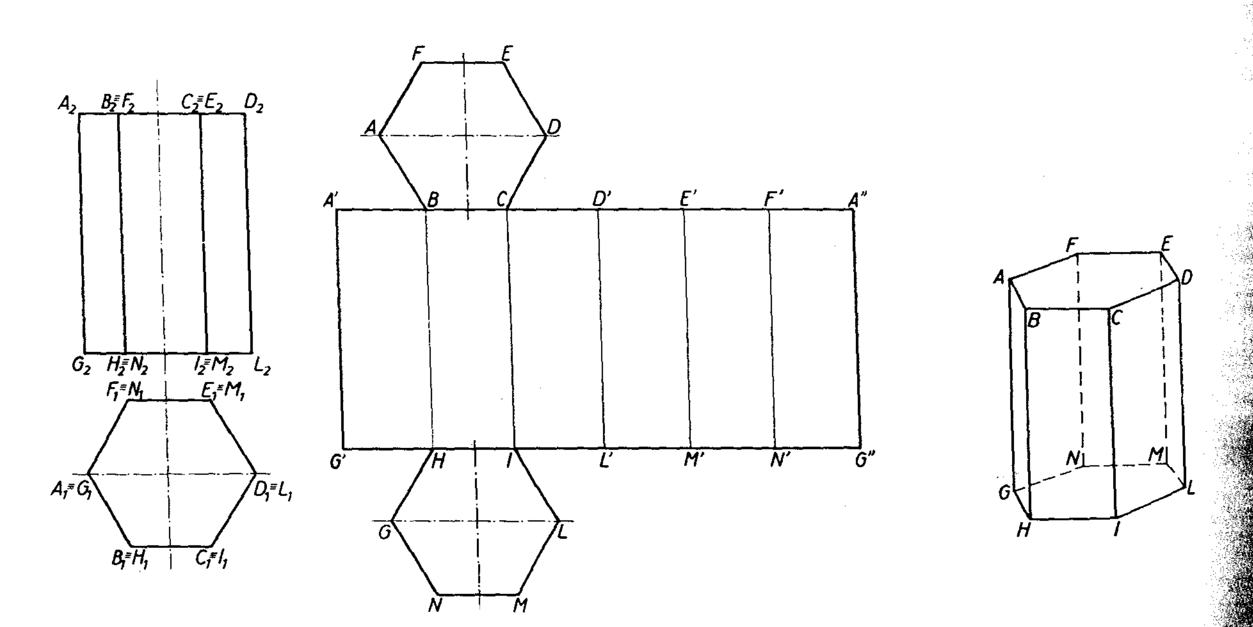


Fig. I, 312. Desarrollo de un prisma recto hexagonal. *La superficie se ha cortado siguiendo las aristas* BA, AF, FE, ED, DC, AG, GH, GN, NM, ML, LI. *Puede ahora extenderse sobre el plano del dibujo, apareciendo como en la figura, que se puede trazar sin dificultad. Para facilitar su ejecución se han puesto las letras de referencia, como de costumbre.*

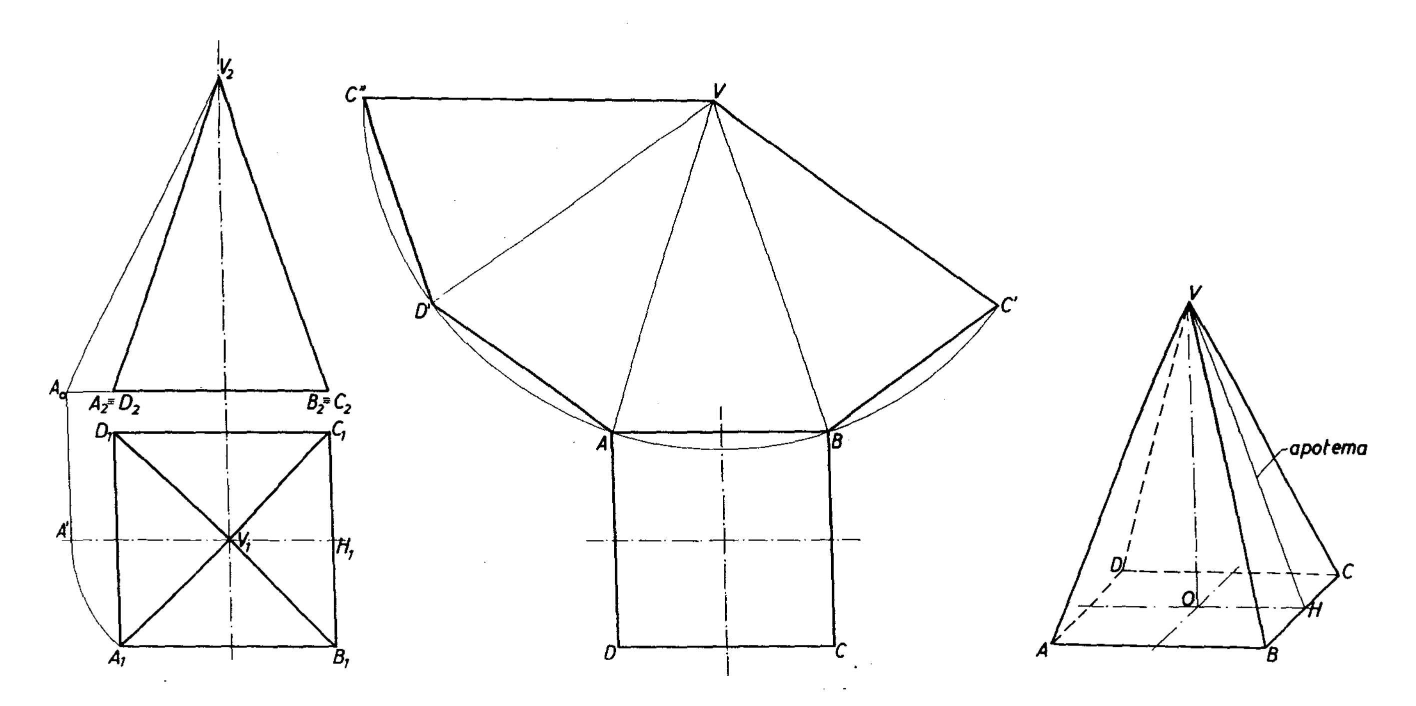


Fig. I, 313. Desarrollo de una pirámide recta de base cuadrada. *La superficie se compone de un cuadrado (base) y de cuatro triángulos isósceles iguales. Todos estos triángulos tienen una altura igual a la apotema* VH *de la pirámide y los lados iguales a las aristas de la pirámide. Para determinar la magnitud exacta de una de las aristas, por ejemplo,* VA, *dada la planta y alzado de la pirámide, basta rebatir la arista sobre el plano del dibujo. Para ello, con centro en* V_1 *y radio* V_1A_1 *se describe un octavo de circunferencia, determinando el punto* A'. *Proyectado* A' *en* A_0, *se tiene en* V_2A_0 *la verdadera longitud de la arista* VA. *Se dibuja ahora la base* ABCD *y el triángulo* VAB, *con* $VA = V_2A_0$; *luego, haciendo centro en* V, *se traza un arco de circunferencia de radio* VA, *sobre el cual se toma otras tres veces la cuerda* AB *en* AD'; D'C''; BC'. *Finalmente, uniendo los puntos* C'', D', C' *con* V, *se completa el desarrollo pedido.*

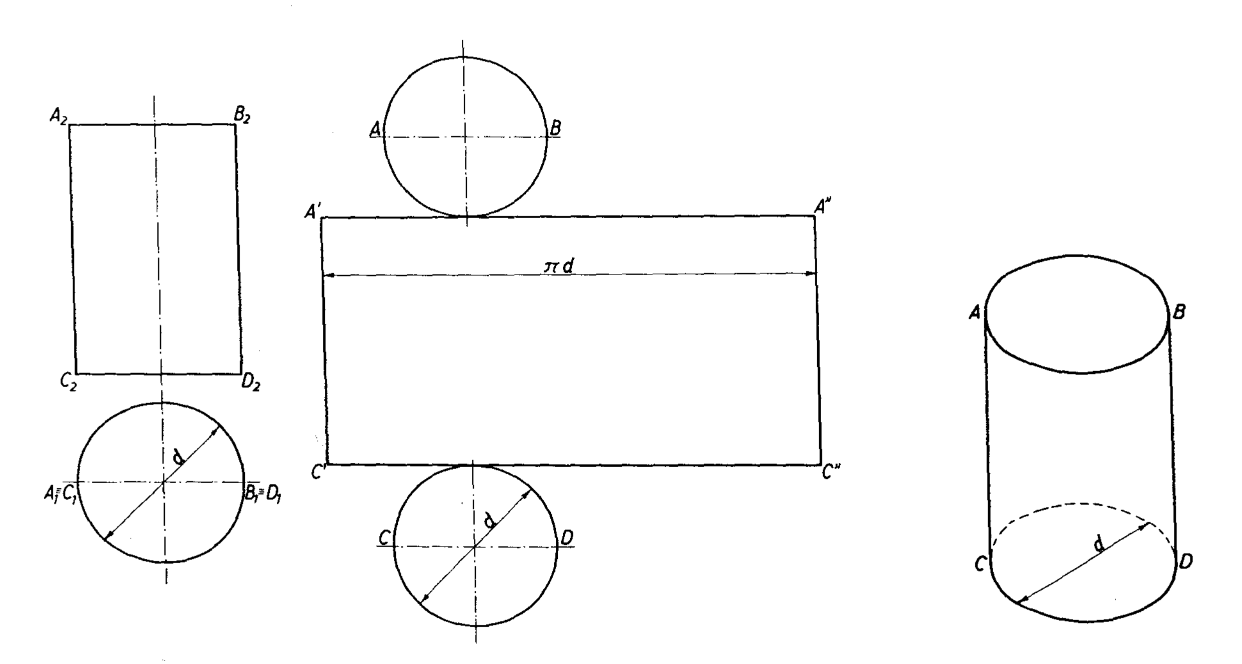
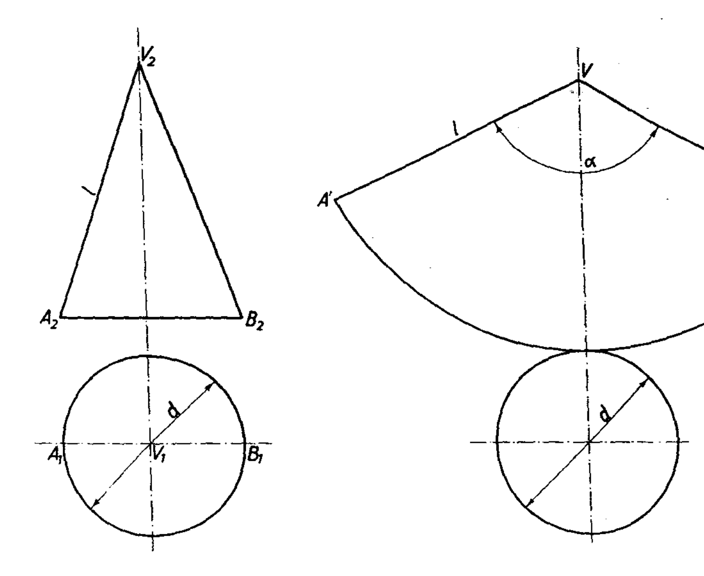


Fig. I, 314. Desarrollo de un cilindro. *Se corta la superficie siguiendo una generatriz del cilindro y luego las dos circunferencias de base. La superficie queda formada por las dos circunferencias de base y un rectángulo cuya altura es igual a la altura del cilindro y de longitud igual a la circunferencia del cilindro, o sea* πd. *Se puede, pues, trazar con gran facilidad el desarrollo pedido.*



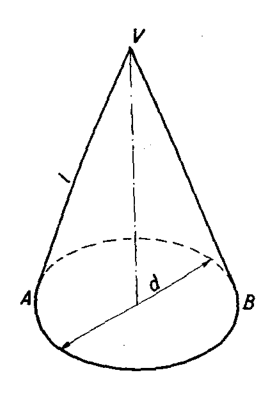


Fig. I, 315. Desarrollo de un cono. *La superficie cónica se corta siguiendo la circunferencia de base y a lo largo de una generatriz, por ejemplo,* VA; *después de esto se puede desarrollar en un plano. El desarrollo está formado por un círculo igual a la base del cono y un sector circular, de radio igual a la apotema del cono* l *y cuyo ángulo* α *es tal que el arco del sector tenga la misma longitud que la circunferencia de base. Se puede además calcular el ángulo* α*, que ha de ser igual a* 180° · d/l.

Fig. I, 316. Desarrollo de un tronco oblicuo de prisma recto de base rectangular. Se dan las tres proyecciones del prisma. *Aplicando las construcciones conocidas, se dibuja la verdadera forma y magnitud de la cara superior. Luego se imagina cortada la superficie del prisma por las aristas* AB, AE, EH, HG, GF, GH, HE, AD, BC, *con lo que se puede desarrollar la superficie, que resultará compuesta de un rectángulo* EHGF *igual a la base; un trapecio* A'EFB' *igual al alzado del prisma; un rectángulo* B'FG'C *igual* $B_3F_3G_3C_3$*; otro trapecio exactamente igual y simétrico al primero; un rectángulo* DH'E'A'' *igual al perfil* $D_3H_3E_3A_3$*, y por último un rectángulo* CDAB *igual a la forma verdadera de la cara superior, previamente determinada.*

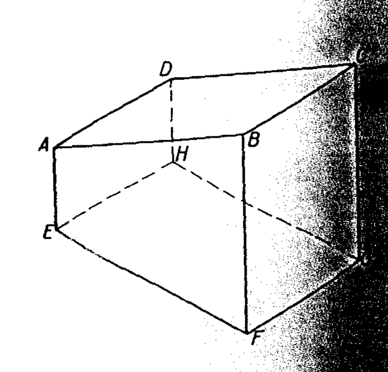


Fig. I, 317. Desarrollo de un tronco oblicuo de prisma hexagonal recto. *Se trazan también las tres proyecciones de este prisma y se determina la forma verdadera de la cara superior. Se corta luego la superficie por las aristas,* AG, HI, IL, LM, MN, NG, AB, BC, CD, DE, FA. *La construcción es análoga a la del ejemplo anterior.*

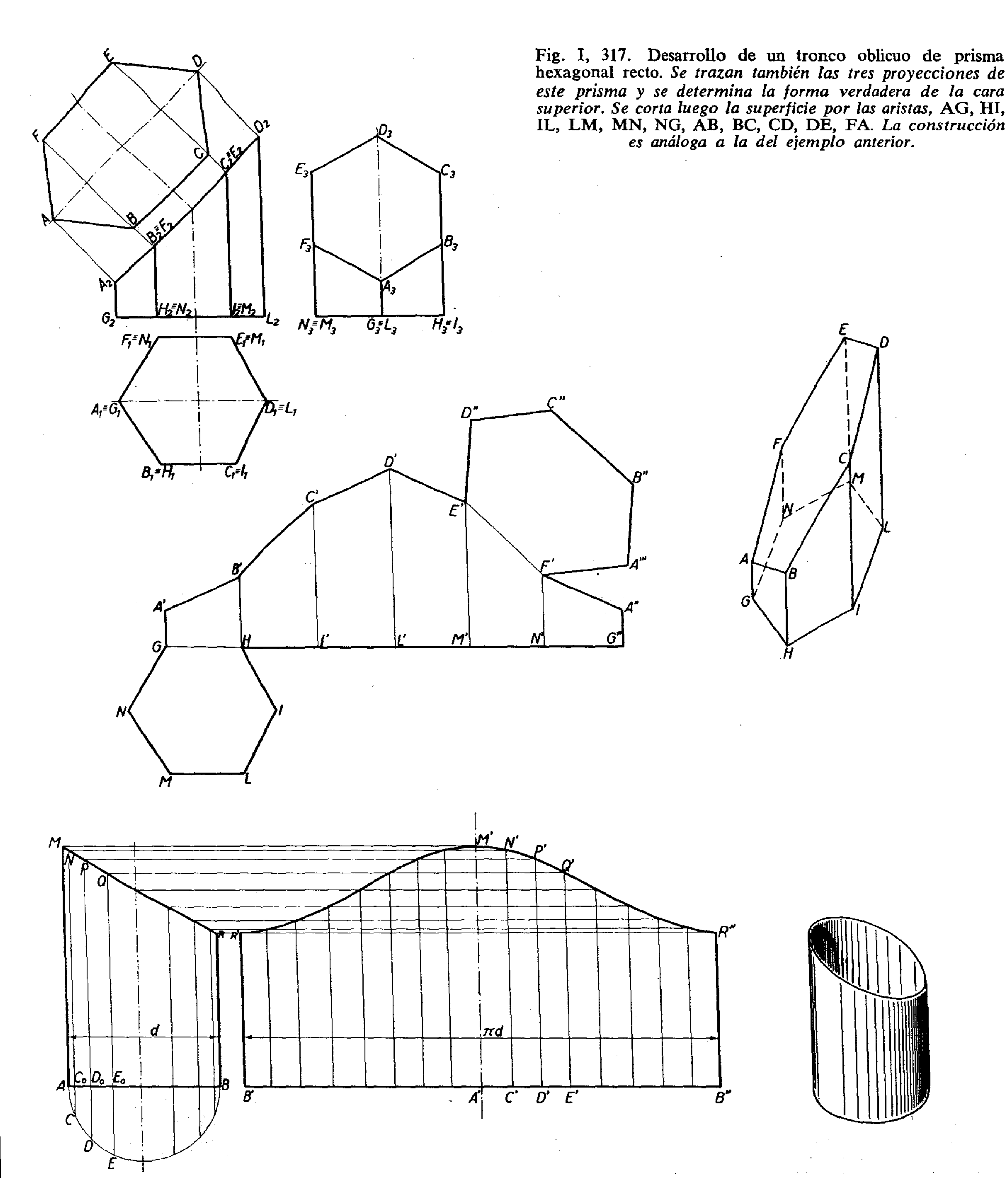


Fig. I, 318. Desarrollo de una superficie cilíndrica truncada oblicuamente. *Basta dibujar el alzado del tronco cilíndrico y, en lugar de la planta, rebatir su mitad sobre el plano de alzado. Señalando sobre esta semicircunferencia algunos puntos (escogidos equidistantes para comodidad) se trazan por ellos las perpendiculares a* AB, *o sea, se dibujan las correspondientes generatrices del tronco, determinando los puntos* M, N, P, Q, *etc., correspondientes a* A, C, D, E, *etc. Imaginando luego que se corta la superficie a lo largo de la generatriz* RB, *se traza el segmento* B'B'', *de igual longitud que la circunferencia de la base* πd, *y se señalan sobre el mismo los puntos* A', C', D', E', *etc., correspondientes a* A, C, D, E, *etc. Por cada uno de estos puntos se levanta una perpendicular a* B'B'' *hasta cortar las paralelas a* B'B'' *trazadas por los puntos* M, N, P, Q, *etc., previamente determinados en el alzado; es decir, por cada punto se traza la generatriz correspondiente. Uniendo luego los extremos de las generatrices, se traza el desarrollo pedido, que se completa con los segmentos* R'B' *y* R''B''.

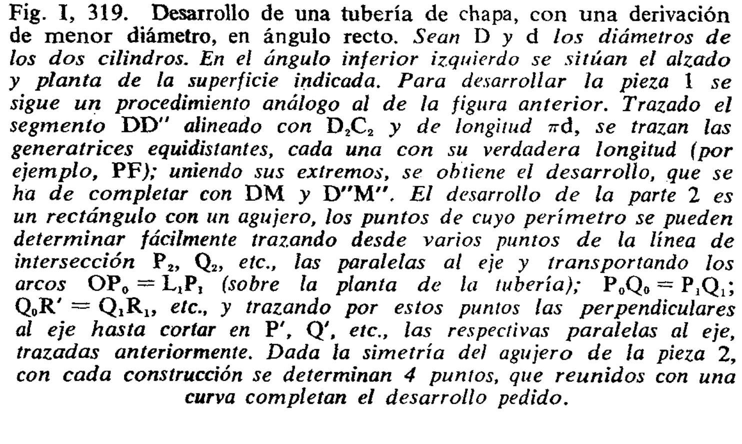
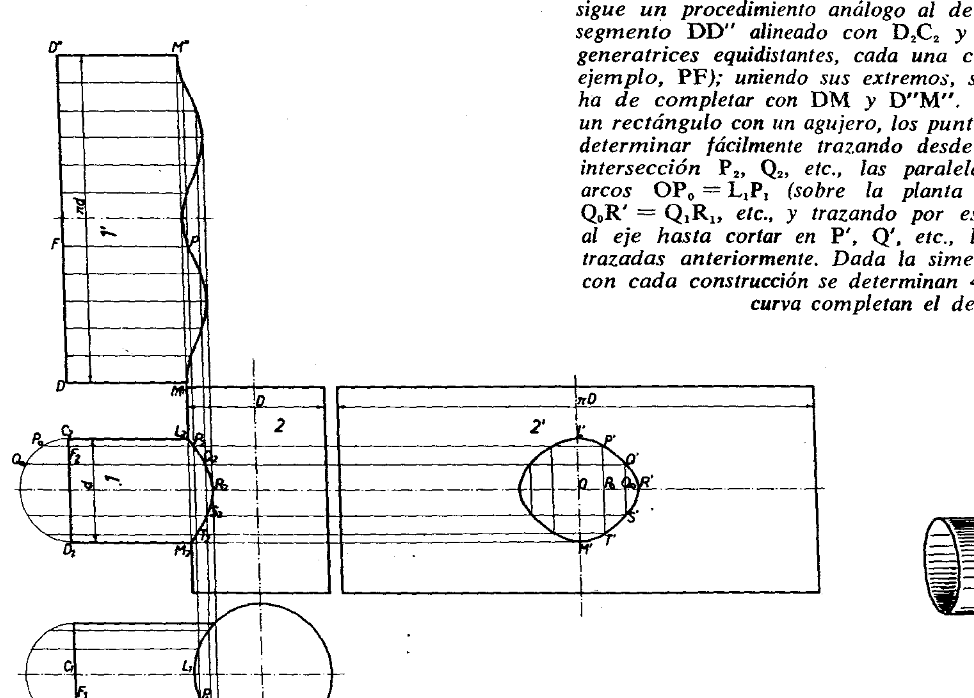


Fig. I, 319. Desarrollo de una tubería de chapa, con una derivación de menor diámetro, en ángulo recto. *Sean* D *y* d *los diámetros de los dos cilindros. En el ángulo inferior izquierdo se sitúan el alzado y planta de la superficie indicada. Para desarrollar la pieza* 1 *se sigue un procedimiento análogo al de la figura anterior. Trazado el segmento* DD'' *alineado con* D_2C_2 *y de longitud* πd, *se trazan las generatrices equidistantes, cada una con su verdadera longitud (por ejemplo,* PF*); uniendo sus extremos, se obtiene el desarrollo, que se ha de completar con* DM *y* D''M''. *El desarrollo de la parte* 2 *es un rectángulo con un agujero, los puntos de cuyo perímetro se pueden determinar fácilmente trazando desde varios puntos de la línea de intersección* P_2, Q_2, *etc., las paralelas al eje y transportando los arcos* $OP_0 = L_1P_1$ *(sobre la planta de la tubería);* $P_0Q_0 = P_1Q_1$; $Q_0R' = Q_1R_1$, *etc., y trazando por estos puntos las perpendiculares al eje hasta cortar en* P', Q', *etc., las respectivas paralelas al eje, trazadas anteriormente. Dada la simetría del agujero de la pieza* 2, *con cada construcción se determinan 4 puntos, que reunidos con una curva completan el desarrollo pedido.*



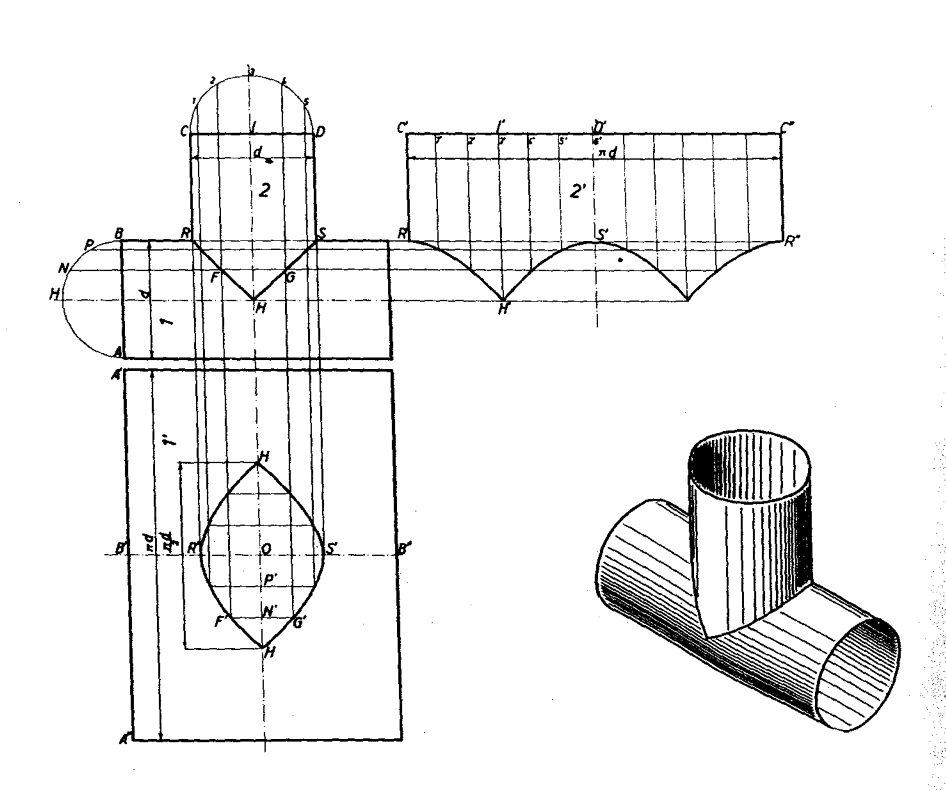


Fig. I, 320. Desarrollo de una tubería de chapa, con una derivación del mismo diámetro. *El problema se resuelve del mismo modo que el anterior. En este caso, dada la igualdad de diámetros de los dos tubos, la longitud del agujero de la pieza señalada con el n.º* 1 *es igual en el alzado a la mitad del diámetro de la tubería, como se deduce evidentemente del examen de dicho alzado en la figura*

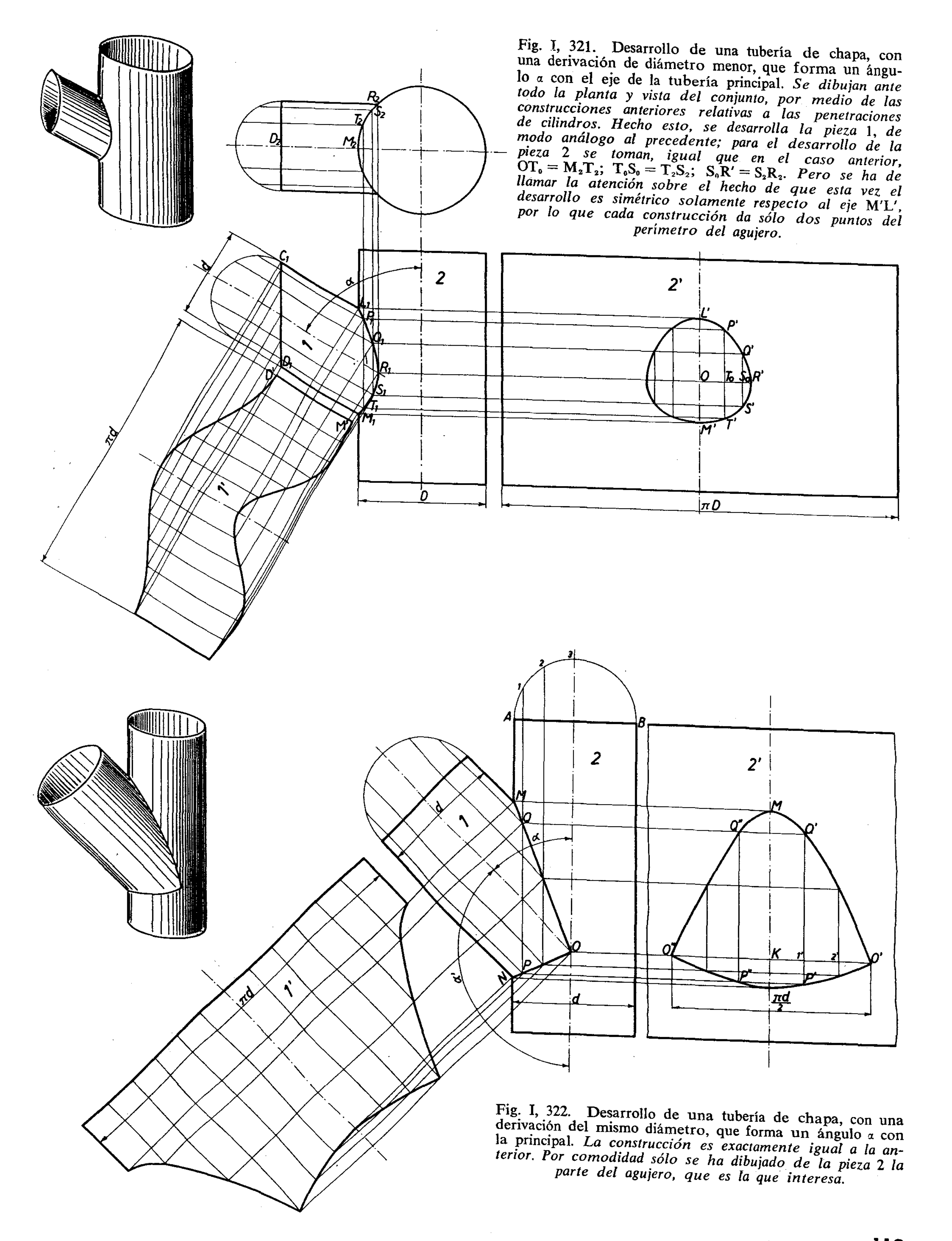
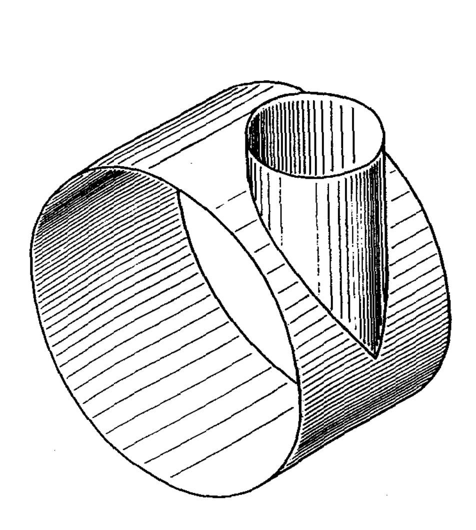


Fig. I, 321. Desarrollo de una tubería de chapa, con una derivación de diámetro menor, que forma un ángulo α con el eje de la tubería principal. *Se dibujan ante todo la planta y vista del conjunto, por medio de las construcciones anteriores relativas a las penetraciones de cilindros. Hecho esto, se desarrolla la pieza 1, de modo análogo al precedente; para el desarrollo de la pieza 2 se toman, igual que en el caso anterior,* $OT_0 = M_2T_2$; $T_0S_0 = T_2S_2$; $S_0R' = S_2R_2$. *Pero se ha de llamar la atención sobre el hecho de que esta vez el desarrollo es simétrico solamente respecto al eje M'L', por lo que cada construcción da sólo dos puntos del perímetro del agujero.*

Fig. I, 322. Desarrollo de una tubería de chapa, con una derivación del mismo diámetro, que forma un ángulo α con la principal. *La construcción es exactamente igual a la anterior. Por comodidad sólo se ha dibujado de la pieza 2 la parte del agujero, que es la que interesa.*

Fig. I, 323. Desarrollo de una tubería de chapa, con una bifurcación simétrica, que forma un ángulo de 45° con el eje de la tubería principal, teniendo los tres tubos el mismo diámetro. *También se resuelve este problema siguiendo el procedimiento general. No se ha dibujado el desarrollo de la pieza 3 por ser simétrico al de la pieza 2. Dada la igualdad de diámetros de las tres conducciones, se tiene* A'A'' = D'D''.

Fig. I, 324. Dibujar el desarrollo de un codo de chapa formado por 4 piezas, *como puede verse en la pequeña axonometría de la pieza. En el alzado del codo se ve que consta de 4 partes, numeradas* 1, 2, 3, 4, *de las cuales* 1 = 4 y 2 = 3; *por lo que se dibujan sólo los desarrollos de los números* 1 y 2. *El desarrollo es análogo a los ya estudiados en las figuras anteriores.*



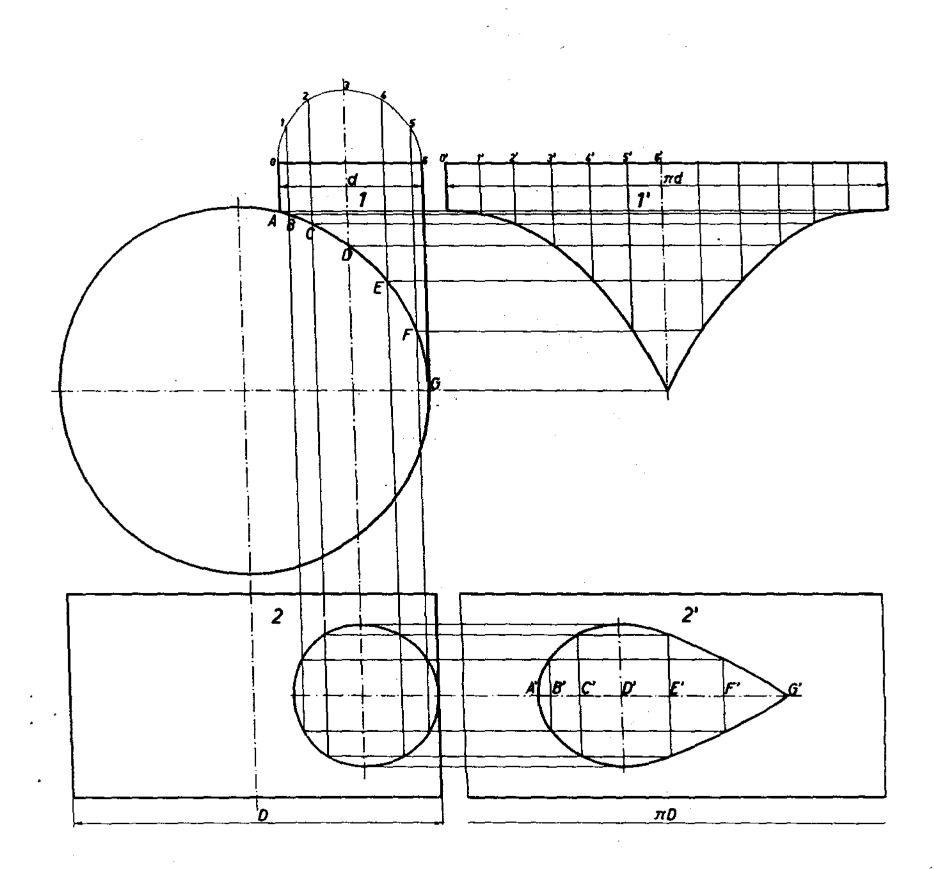
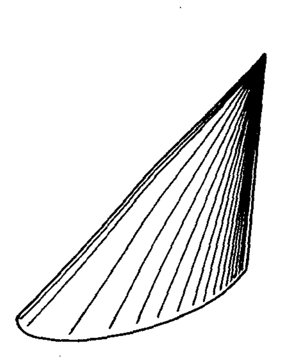


Fig. I, 325. Desarrollo de una tubería de chapa con una derivación asimétrica de diámetro menor. *Dibujados el alzado y planta con las reglas conocidas, se obtiene el desarrollo siguiendo el procedimiento ordinario.*



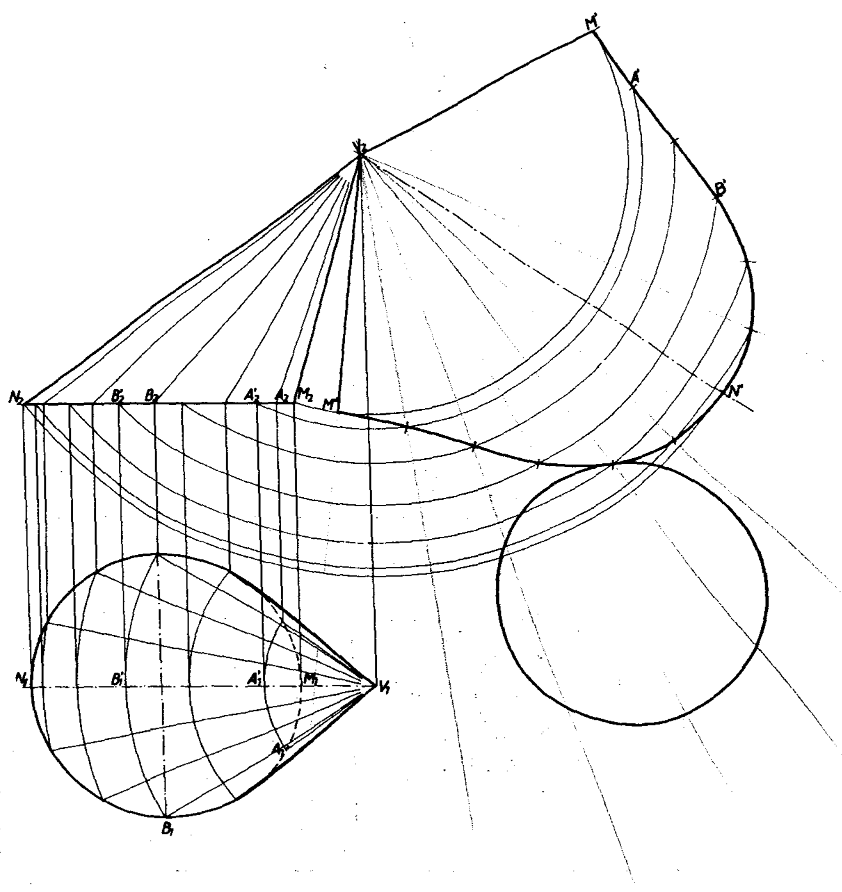


Fig. I, 326. Dibujar el desarrollo de un cono oblicuo de base circular. *Siendo la base oblicua respecto al eje y circular, es evidente que la sección recta del cono no será un círculo. El procedimiento que deberá seguirse será siempre el general. Dibujados el alzado y planta del cono y algunas generatrices, se determina para cada una de ellas un punto del desarrollo (o mejor dos puntos, dada la simetría del desarrollo). Por ejemplo, para la generatriz* VA *desde* A_2 *se traza la perpendicular a la línea de tierra (no representada para simplificar la figura), hasta cortar en* A_1 *la planta. Haciendo centro en* V_1, *se rebate* A_1 *en* A'_1; *desde este punto se traza una perpendicular a la línea de tierra obteniendo* A'_2. *Haciendo centro en* V_2, *se traza un arco de circunferencia partiendo de* A'_2. *En el desarrollo el arco* M″M′ *tiene la misma longitud que la circunferencia de la base del cono. El punto* A′ *(y su simétrico) sobre el arco trazado desde* A'_2 *se determina tomando* $M'A' = M_1A_1$. *Del mismo modo se procede para cualquier otra generatriz, por ejemplo* VB.

Fig. I, 327. Desarrollo de la superficie lateral de un tronco de cono con las dos bases oblicuas. *En este caso la sección recta del cono es circular. Por esto, ante todo, se imagina el tronco de cono prolongado de modo que sus dos bases sean perpendiculares al eje. El alzado del cono se representará de este modo por* AB_0R_0M. *Su desarrollo se determina tomando* $B_0B'_0$ *igual a la circunferencia de la base del cono prolongado. Después se continúa del modo ya conocido.*

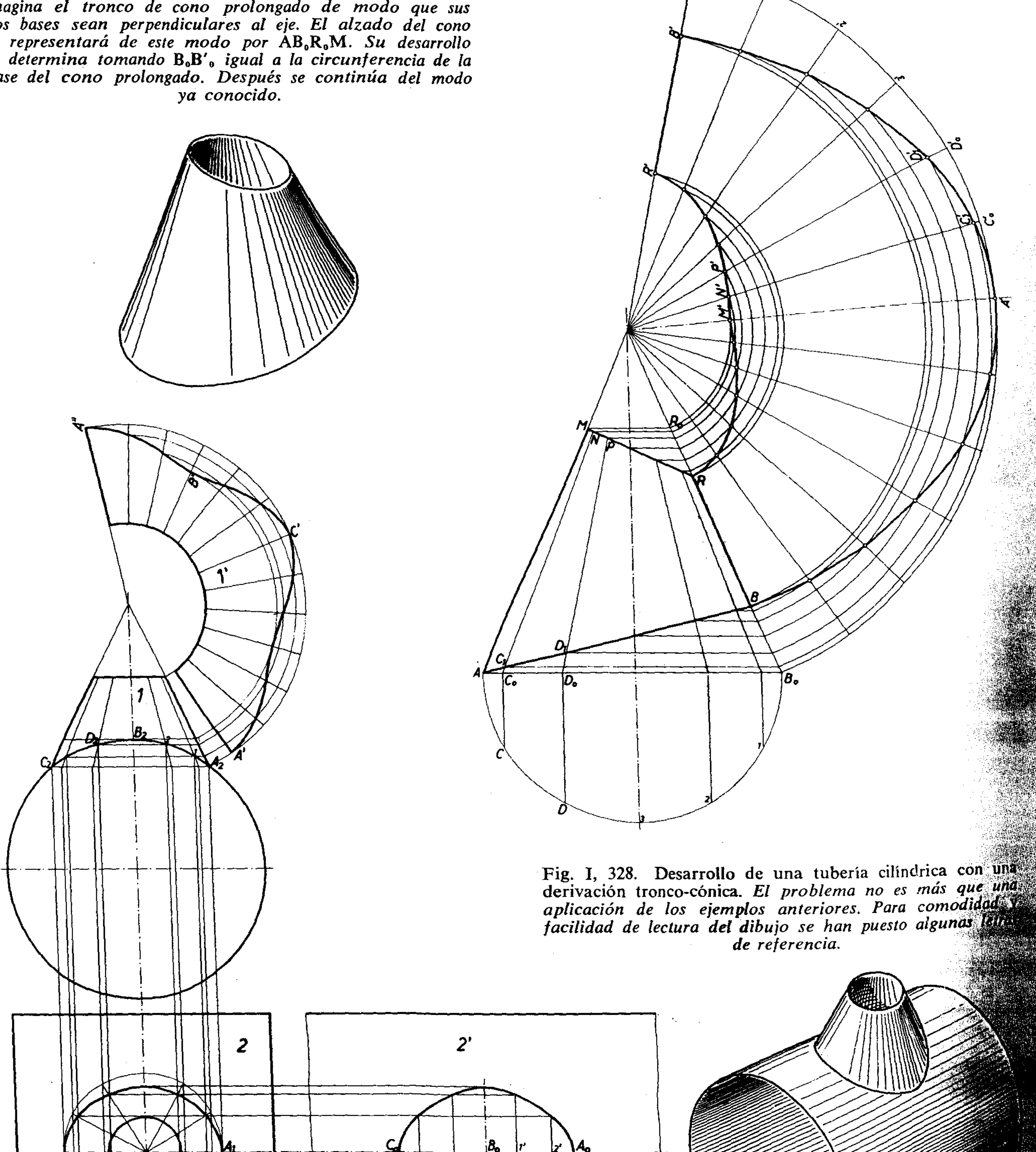


Fig. I, 328. Desarrollo de una tubería cilíndrica con una derivación tronco-cónica. *El problema no es más que una aplicación de los ejemplos anteriores. Para comodidad y facilidad de lectura del dibujo se han puesto algunas letras de referencia.*

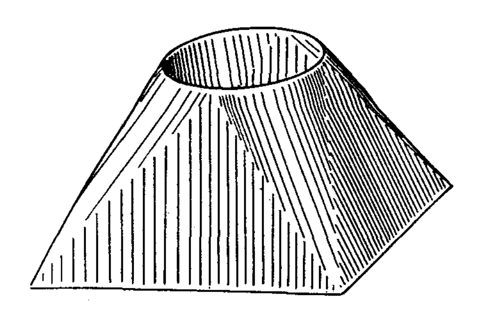


Fig. I, 329. Dibujar el desarrollo de una campana de chimenea, de chapa, de base cuadrada, *representada en axonometría. Cada cuarto de la campana se puede considerar formado por un triángulo igual al* MAB *y por una parte curva. El desarrollo se efectúa, por lo tanto, reconstruyendo la forma verdadera de la parte triangular y determinando luego el desarrollo de la parte curva. En la figura se representa sólo la mitad del desarrollo. Para facilitar su interpretación, se han puesto numerosas letras de referencia. Se tiene:* $MN = A_2E_2$; $AM = I_2M_2$; $A1' = O_21$; $A2' = P_22$; $AE = AM = Q_2E_2 = I_2M_2$; $M1' = M_11$.

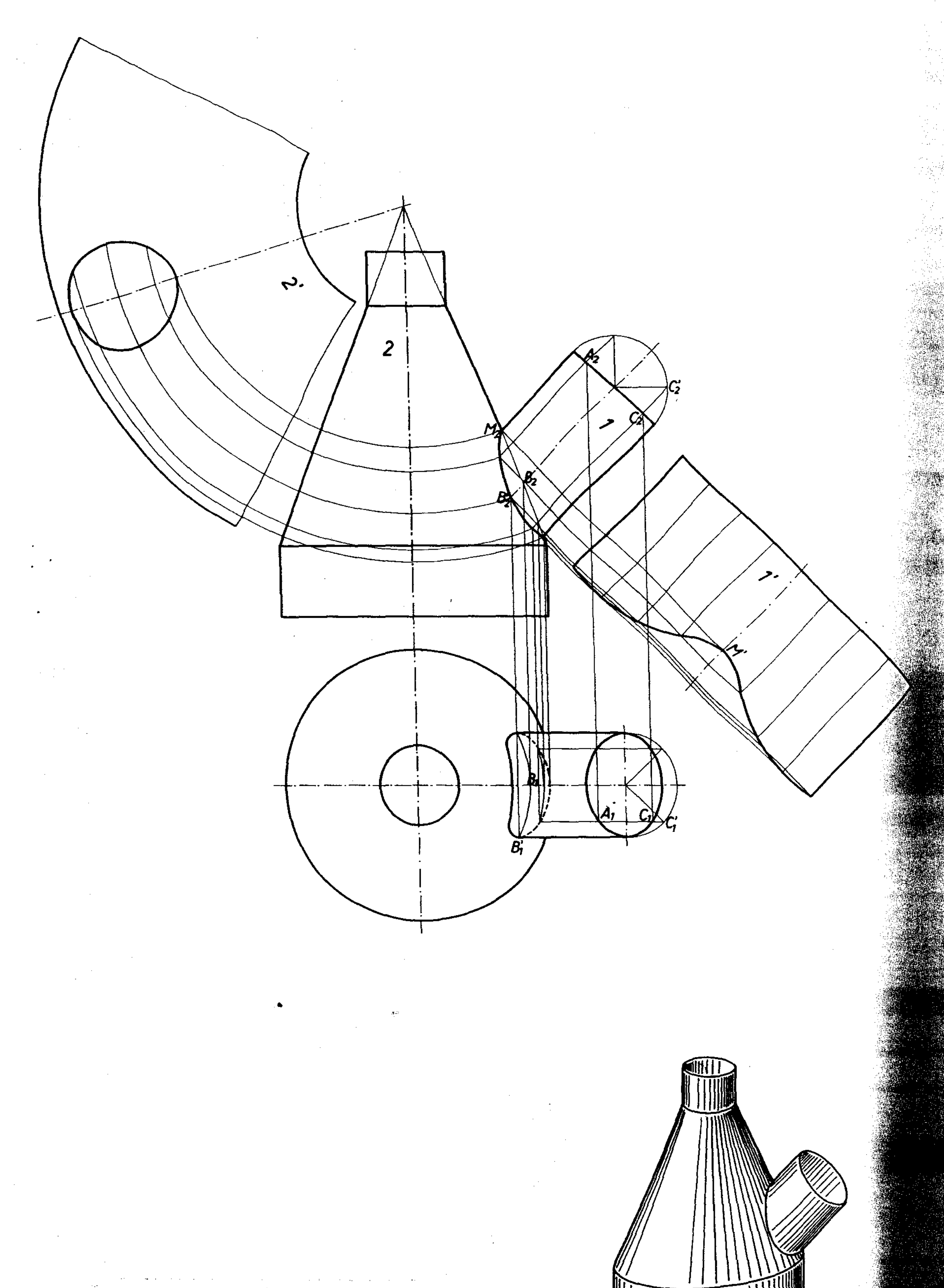


Fig. I, 330. Desarrollo de un empalme tronco-cónico, con una derivación cilíndrica. *El desarrollo se realiza sin dificultad, aplicando las construcciones conocidas, partiendo de la planta y del alzado de la tubería.*

SEGUNDA PARTE — DIBUJO TÉCNICO MECÁNICO

SECCIÓN PRIMERA
LAS PRIMERAS NORMAS

Capítulo I
GENERALIDADES

1. Generalidades

Los dibujos mecánicos que entrega una oficina técnica, han de contener todas las indicaciones necesarias para la fabricación de la pieza o del conjunto que representan.

Cuando se haya de proyectar un mecanismo, o cuando terminada la fabricación de sus diversas y frecuentemente numerosísimas partes se tenga que proceder al montaje del mismo, se precisa el **dibujo de conjunto.** Éste ha de representar el conjunto total, sirviéndose de las *vistas* necesarias y de una o más *secciones* si es conveniente. Los dibujos de conjunto dan una idea clara del mecanismo en su totalidad, pero no contienen todos los elementos necesarios para la fabricación de las diferentes partes que componen el conjunto.

La función de proporcionar todos los elementos citados la cumplen los *dibujos parciales o de detalle.* Éstos, correspondientes a cada una de las diferentes piezas que componen el mecanismo y que por lo tanto acompañan al dibujo de conjunto, representan todas las vistas y secciones necesarias para la completa comprensión de su forma y tamaño exactos, para lo cual estarán provistas de las cotas o medidas, tolerancias, signos de trabajo de las distintas partes de cada pieza, indicaciones de los materiales, incluyendo los tratamientos eventuales térmicos o de acabados superficiales a que deban someterse los materiales (por ejemplo, niquelado, cromado, etcétera).

De lo anteriormente dicho, se podría deducir que el dibujo de una pieza es perfecto si ésta está bien representada, con los datos antes indicados. En realidad no es así.

Al dibujar una pieza mecánica, *el delineante* **debe** *seguir mentalmente el proceso de fabricación por el cual de la pieza en bruto o semitrabajada se llega a la pieza acabada;* y el dibujo trazado debe tener en cuenta y exponer con evidencia toda la destreza que deberá emplearse a fin de que los trabajos se puedan realizar efectivamente; debe, pues, ejecutarse **teniendo profundo conocimiento del proceso tecnológico de fabricación de la pieza.** En caso de que el dibujante no tenga suficiente práctica de taller de las diferentes operaciones que deberá sufrir la pieza, será, más que oportuna, necesaria, una extensa consulta con los técnicos del taller.

No es ciertamente posible en esta obra extenderse mucho sobre este tema, sea porque naturalmente se suponen ya adquiridas las nociones fundamentales sobre las principales operaciones mecánicas, desarrolladas en los cursos de tecnología; sea porque el conocimiento de los procedimientos técnicos de fabricación de piezas mecánicas sólo pueden adquirirse parcialmente estudiando en los libros, pues es indispensable la práctica de taller.

Se recomienda no obstante fijarse en algunos de los puntos que se han de tener presentes en los trabajos de taller más corrientes; y recordar igualmente la necesidad de que el dibujante, al trazar el croquis o el dibujo de una pieza, se dé perfecta cuenta de su función cinemática, o sea, de la función específica que dicha pieza ha de cumplir en el mecanismo de que forma parte. Solamente así podrá el dibujante tener una idea exacta de las fuerzas a que estará sometida dicha pieza, y escoger por tanto, el material que posea las características más adecuadas, e indicar los tratamientos térmicos eventuales que dicho material habrá de sufrir.

En relación con las operaciones a que tenga que someterse una pieza, se dan a continuación algunos ejemplos de reglas que el dibujante ha de observar obligatoriamente.[1]

(1) Se llama expresamente la atención del lector sobre el hecho de que, dado que el presente capítulo trata de *asuntos generales* (que se verán aplicados continuamente en todo el texto, en los ejemplos y figuras que se irán exponiendo cuando convenga), *deberán aplicarse forzosamente hasta ahora las normas que, tanto sobre líneas como sobre representaciones especiales* (roscas, rayados, etc.), *se irán explicando ordenadamente en los capítulos sucesivos.*

2. Piezas fundidas

Supuesto que siempre es conveniente antes de proyectar una pieza que se haya de fundir, tener una previa consulta con el proyectista, el modelista y el fundidor, se ha de tener presente la necesidad de:

a) *Evitar bruscas variaciones de sección* (figuras II, 1-2), porque allí es donde, durante la solidificación, acompañada siempre de variaciones de volumen, se producen tensiones de las piezas y diversos defectos de fusión, debidos principalmente a la diferente velocidad de enfriamiento de las paredes delgadas y de las gruesas.

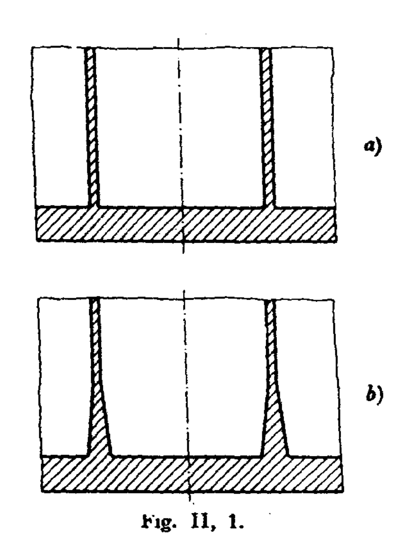


Fig. II, 1.

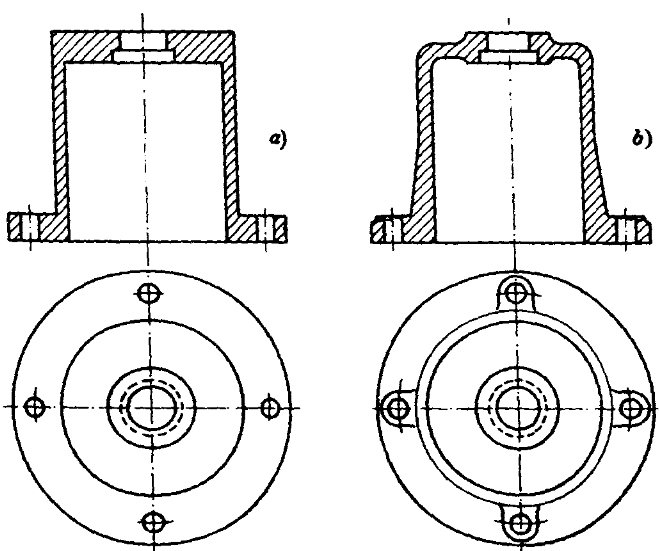


Fig. II. 2.

Figs. II, 1-2. *Al proyectar piezas fundidas se han de evitar las variaciones bruscas de sección, porque, a consecuencia de la diferente velocidad de enfriamiento de las distintas partes, se producen en dichas secciones tensiones internas que pueden resultar peligrosas para la resistencia de la pieza.* La forma **(a)** se ha de substituir por la **(b)**.

b) *Evitar el excesivo e innecesario espesor,* que frecuentemente puede reducirse racionalmente, sin perjuicio, sino al contrario con ventaja, para la mejor ejecución de la pieza, ya que donde hay exceso de material, se forman huecos con más facilidad (fig. II, 3).

c) *Evitar los acuerdos demasiado reducidos o demasiado grandes* entre las partes de diferente inclinación (figs. II, 4-5).

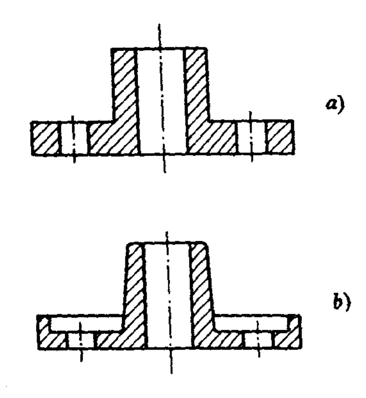


Fig. II, 3. *Evitar en las piezas fundidas los espesores excesivos, siempre que sea posible, porque en ellos se facilita la formación de oquedades. La forma* (a) *es absolutamente errónea y se ha de sustituir por la* (b).

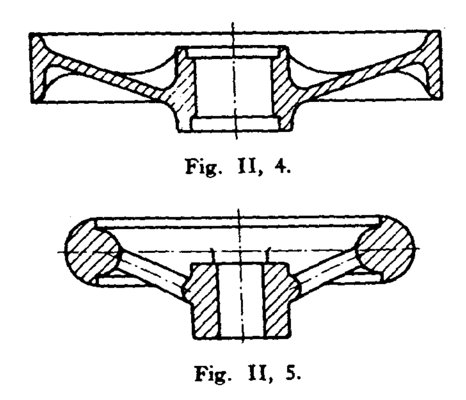


Fig. II, 4.

Fig. II, 5.

Figs. II, 4-5. *En las piezas fundidas las partes con diferente inclinación han de enlazarse con acuerdos, ni demasiado reducidos ni excesivamente grandes.*

d) *Producir, en la fusión, los agujeros brutos de diámetro notable* (fig. II, 6) que deban ser mecanizados posteriormente y que se hayan de ejecutar en partes de la pieza de bastante espesor; el aumento de coste del modelo y del moldeo queda sobradamente compensado con el menor coste del mecanizado subsiguiente, y disminuye, además, la posibilidad de producirse huecos (rechupe) en la masa fundida, que resulta notablemente disminuida por los agujeros in-

Fig. II, 6. *En las piezas fundidas se han de obtener directamente de la fundición los agujeros en bruto, especialmente si son de bastante diámetro y profundidad;* (a) *proyecto erróneo;* (b) *proyecto correcto.*

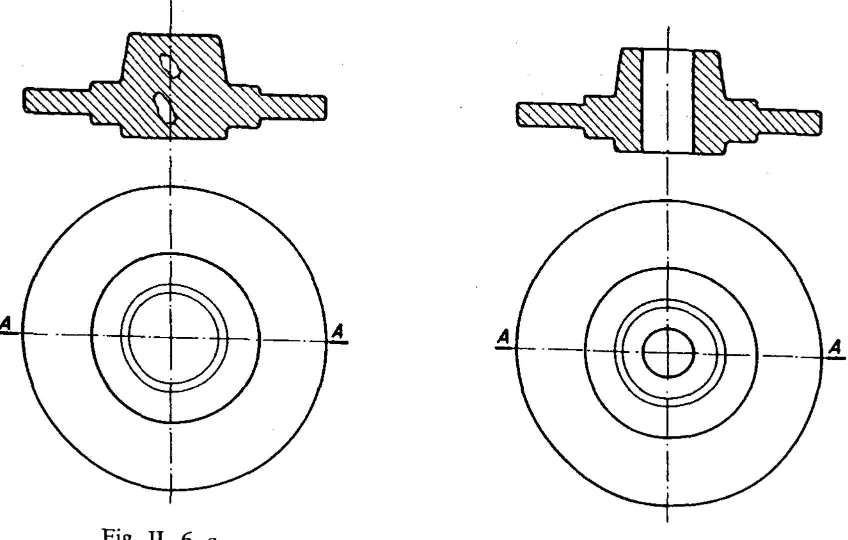


Fig. II, 6 *a.*

Fig. II, 6 *b.*

dicados. En cambio, no conviene producir por fusión los agujeros de pequeño diámetro, para evitar los huecos (causados por la presencia de los noyos) y la posibilidad de desviación del eje de dichos agujeros.

e) En cuanto sea posible, *evitar las aristas interiores y los ángulos entrantes agudos,* y disponer eventualmente unos nervios para acelerar el enfriamiento de las aristas interiores de las piezas, teniendo presente que es en dichas aristas donde se ocasionan porosidades de las coladas, huecos, tensiones, rebabas, etcétera, como se indica en las figuras II, 7-10.

f) *Evitar obtener por fusión partes salientes,* como pomos, etc., unidas directamente a la pieza, cuando sea fácil añadir tales piezas.

Se sabe también que las piezas fundidas de forma, por ejemplo, prismática, no pueden obtenerse de la fundición en su forma exacta; el modelo, para poderlo sacar del molde, ha de tener forzosamente una cierta *deformación* (o despulla o conicidad), o sea, que ha de tener una forma más o menos convergente hacia la base y alargada hacia arriba (refiriéndose a la posición del modelo durante el moldeo).

Esta deformación no se acostumbra a señalar en el dibujo, salvo en el caso en que teniendo que pasar dicho dibujo al modelista se crea conveniente darle instrucciones precisas para su ejecución. En este caso se han de poner en el dibujo las indicaciones para la deformación; pero en los casos corrientes se confía a la experiencia del modelista el cálculo de la deformación necesaria del modelo.

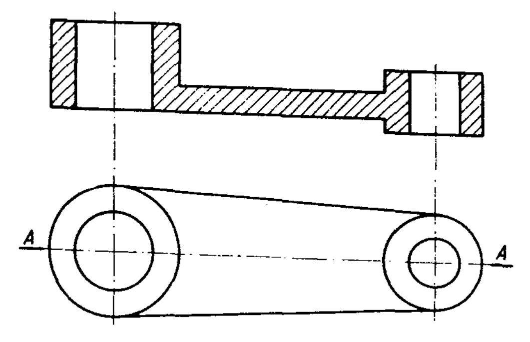


Fig. II, 7 *c.*

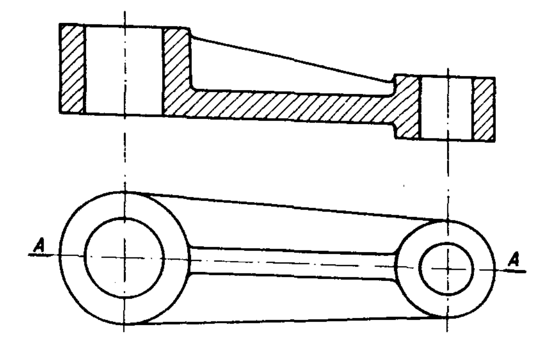


Fig. II, 7 *d.*

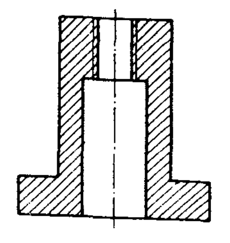


Fig. II, 7 *a.*

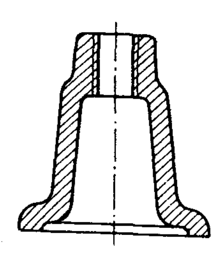


Fig. II, 7 *b.*

Fig. II, 7. *En las piezas fundidas se han de evitar las aristas interiores y ángulos entrantes agudos, para evitar la formación de barbas, porosidades, oquedades, etc. Posiblemente se tendrán que añadir unos nervios que aceleren e igualen la velocidad de enfriamiento de las diferentes partes. Las formas* a *y* c *son defectuosas; las* b *y* d *correctas.*

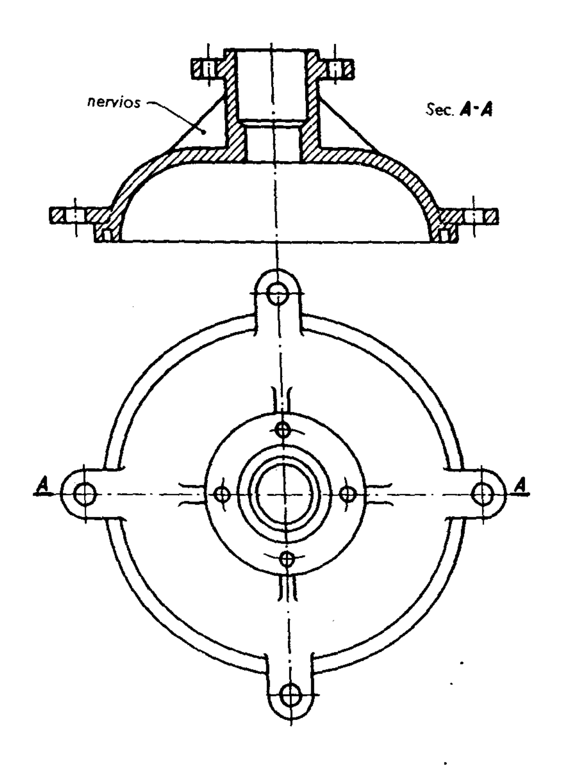


Fig. II, 8. *Aquí se ve el uso correcto de los nervios que facilitan el enfriamiento de los ángulos entrantes en las piezas fundidas.*

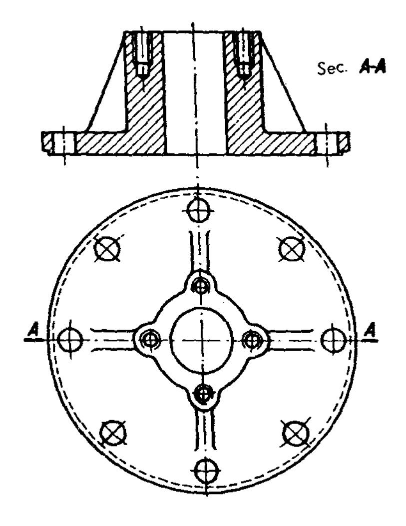


Fig. II, 10. *Otro ejemplo de proyecto correcto de una pieza que se ha de fundir.*

Como regla general se puede fijar la deformación entre el 2 y el 4 por ciento, según los materiales y el tipo de pieza.

g) Se ha de considerar la naturaleza de las superficies toscas de fusión, en relación con los aparatos a que las piezas se han de fijar o acoplar.

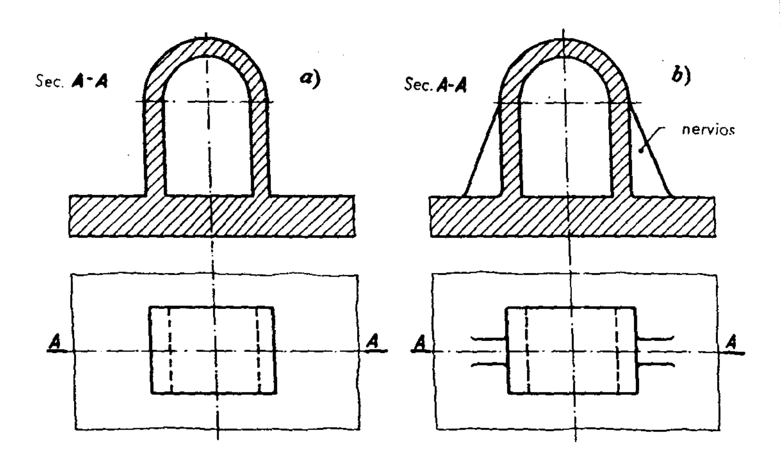


Fig. II, 9. *La forma* (a) *de una pieza fundida es defectuosa; le faltan los acuerdos y nervios, como se indica en la* (b).

3. Piezas forjadas

Las piezas forjadas en serie se obtienen generalmente por estampado, frecuentemente en dos o más fases, de desbaste y de acabado (fig. II, 11).

Para poder emplear las estampas con la debida eficiencia, es necesario, como en la fundición, dar a las mismas, y por lo tanto a las piezas, la conveniente despulla, a fin de que las piezas se puedan sacar fácilmente y no se agarren a la estampa.

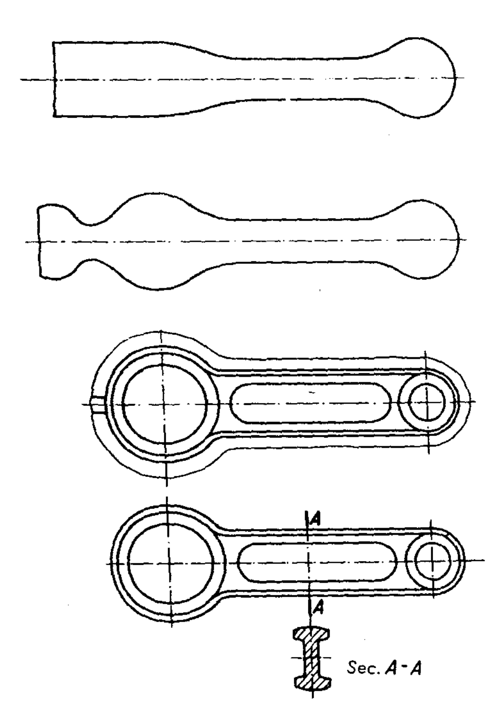


Fig. II, 11. *Pieza estampada en varias fases (éstas podrían ser más numerosas que las indicadas esquemáticamente).*

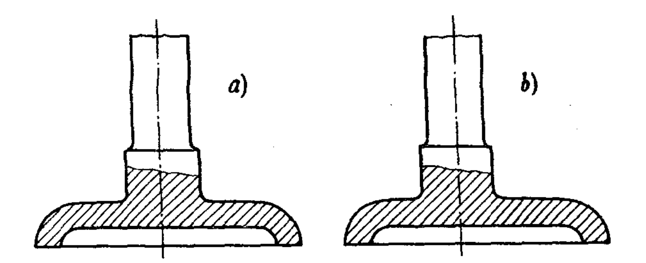


Fig. II, 12. *La forma correcta para una pieza estampada como la indicada en la figura es la* a, *que es simétrica: la* b *es asimétrica y no es aconsejable.*

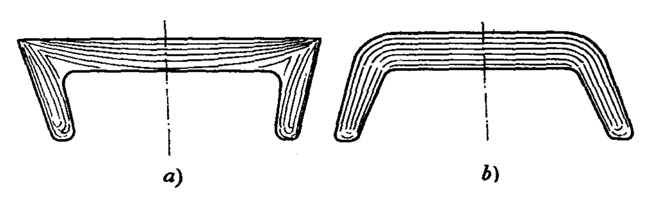


Fig. II, 13. *Si las fibras, durante el forjado, adoptan una orientación discontinua (caso* a), *la pieza resulta fácilmente defectuosa: en cambio, en el caso* b, *las fibras adoptan una orientación uniforme.*

Conviene también que se proyecte la pieza en relación con la *buena disposición de las fibras metálicas;* para que se dispongan, en lo posible, simétricamente (fig. II, 12), o adopten una orientación uniforme (fig. II, 13).

No nos extenderemos más sobre este punto, porque los estudios de esta clase sobre piezas importantes son de competencia de los proyectistas y de los especialistas.

4. Piezas trabajadas por las máquinas herramientas

Las piezas que se han de obtener mediante el trabajo de las máquinas herramientas se han de dibujar con todos los detalles que hagan posible el mecanizado exigido. Por ejemplo:

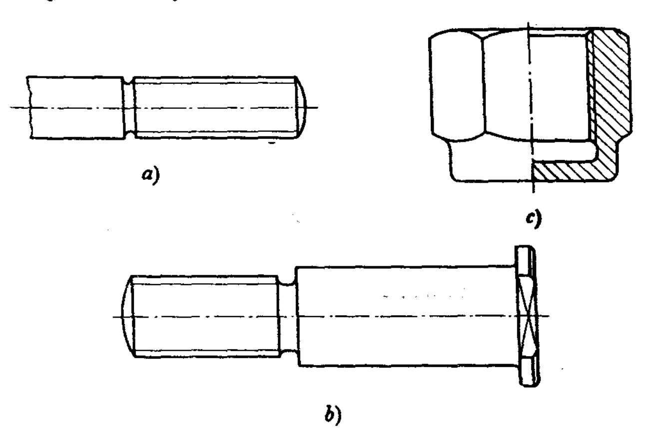


Fig. II, 14. *a, b, c. Las partes roscadas han de tener una ranura de descarga, que haga posible la ejecución de la raíz de la rosca.*

a) Las partes rectificadas, cilíndricas, cónicas y planas y las partes roscadas han de estar provistas del *canal de descarga,* necesario para poder realizar el rectificado o la raíz de la rosca. Las figuras II, 14-20 representan algunos casos típicos.

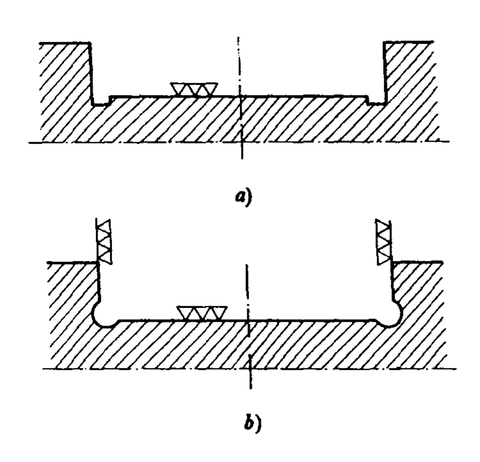
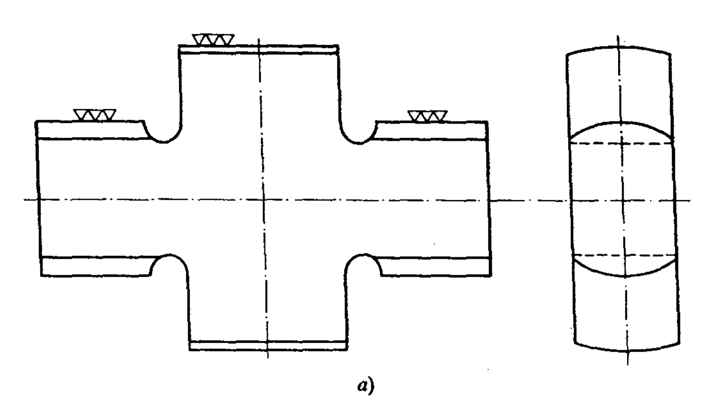


Fig. II, 15. *Las partes rectificadas, análogas a las representadas en la figura, han de tener las adecuadas ranuras de descarga.*



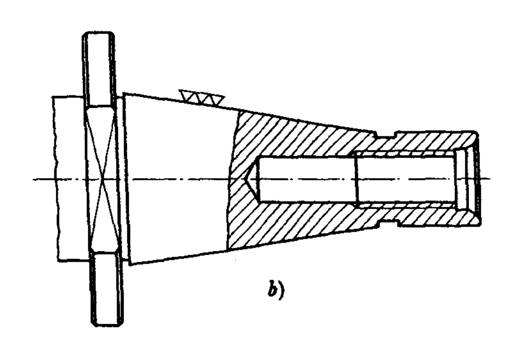


Fig. II, 16. *Para el rectificado de los dos diámetros indicados en la fig.* a *es indispensable una adecuada ranura de descarga; análogamente para el rectificado cónico indicado en la figura* b.

b) En los ajustes móviles son indispensables las *descargas*, de las que se ven algunos ejemplos en las figuras II, 21-22. Las mismas consideraciones se aplican igualmente a los ajustes en cola de milano (fig. II, 23). La descarga de la figura II, 23 *a* puede sustituirse por un achaflanado de la hembra.

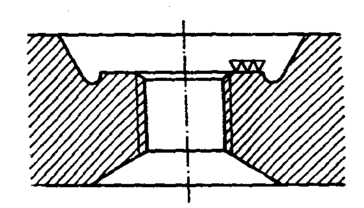


Fig. II, 17. *Igualmente el rectificado plano indicado en la figura sólo será posible si se ha previsto la adecuada ranura de descarga.*

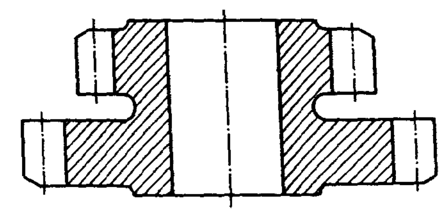


Fig. II, 18. *La talla de los dientes de un piñón doble sólo es posible si entre las dos coronas dentadas existe una ranura de descarga apropiada.*

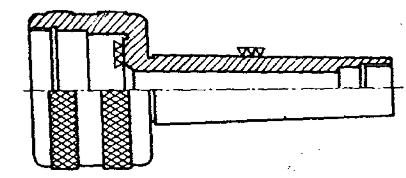


Fig. II, 19. *Aquí se ve un ejemplo de una pieza con roscado y rectificado interno, con las descargas necesarias.*

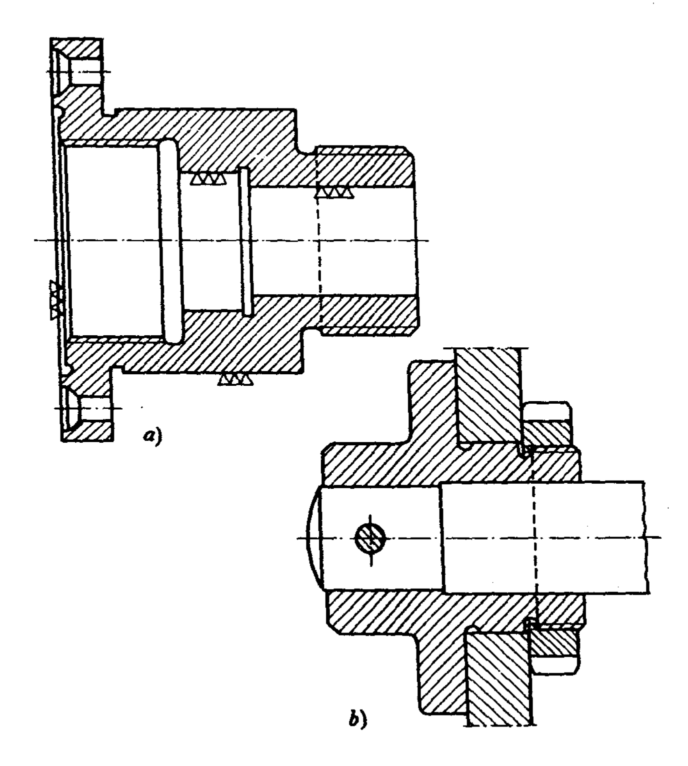


Fig. II, 20. *Otros dos ejemplos de piezas mecánicas con ranuras de descarga correspondientes al roscado exterior e interior y al rectificado.*

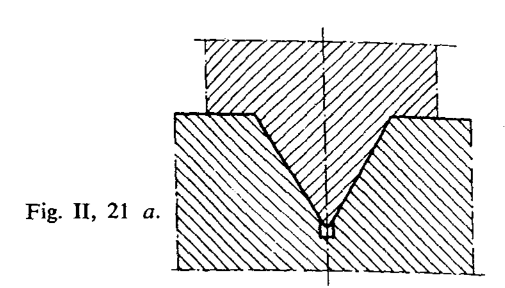


Fig. II, 21 *a*.

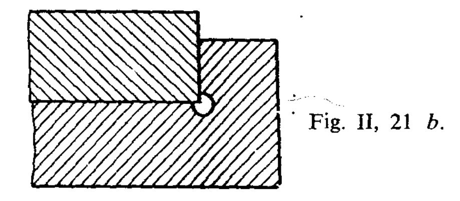


Fig. II, 21 *b*.

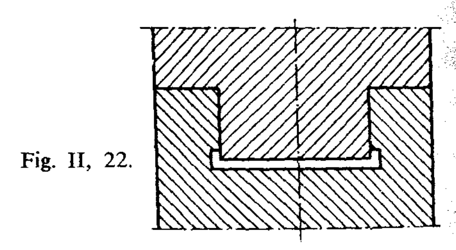


Fig. II, 22.

Figs. II, 21-22. *Ejemplos de descargas necesarias en los acoplamientos prismáticos móviles.*

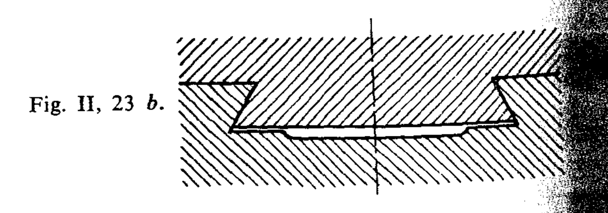


Fig. II, 23 *b*.

Fig. II, 23. *En los acoplamientos en cola de milano son indispensables las ranuras de descarga; muchas veces se podrán sustituir por un achaflanado de la hembra.*

c) Las partes en que se hayan de hacer agujeros con broca han de ser *planas y perpendiculares al eje del agujero* (fig. II, 24), pues de lo contrario la punta no podría iniciar el agujero con precisión, o bien, en el mejor de los casos, por mucha atención que ponga el operario, el agujero no resultaría regular, por lo menos en la boca. En el caso particular de tener que taladrar una superficie oblicuamente, es necesario recurrir a dispositivos especiales.

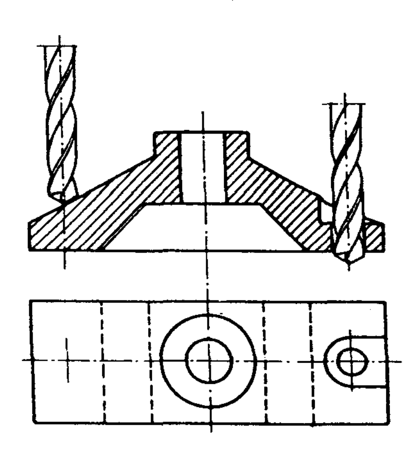


Fig. II, 24. *Las partes en que se haya de hacer un agujero con una broca han de ser planas y perpendiculares al eje del agujero, como se ve en la mitad derecha de la figura: si, en cambio, la pieza tuviese la forma que indica la mitad izquierda de la figura, la punta de la broca no podría trabajar con regularidad.*

d) Cuando una parte de la pieza se ha de trabajar en una fresadora vertical con una fresa frontal o de mango, etc., es preciso que la forma de la pieza permita el empleo de la fresadora, es decir, *que haya espacio suficiente para el paso del husillo* (fig. II, 25).

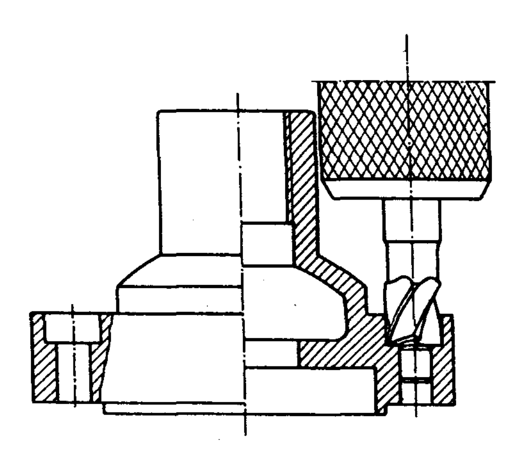
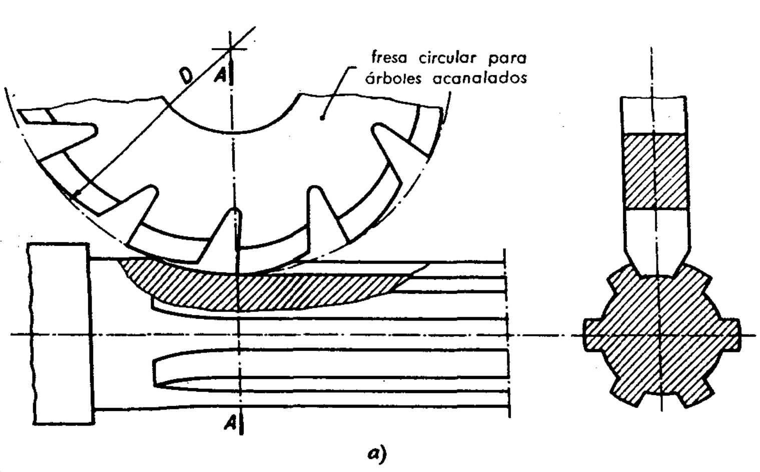


Fig. II, 25. *Las partes en las que se hayan de efectuar avellanados con la fresa han de ser también planas y perpendiculares al eje del avellanado: y la forma de la pieza ha de permitir el paso del husillo portapuntas o portafresas.*

e) Las piezas que lleven calados manguitos o estructuras semejantes, se han de dibujar de manera que haya la posibilidad de mecanizar con facilidad las superficies de apoyo.

f) Con frecuencia se indica en el dibujo, directa o indirectamente, el exceso de metal que hay que dejar cuando, por ejemplo, una pieza torneada tenga que someterse a un tratamiento térmico y luego rectificada. Se puede escribir, por ejemplo: «tornear a ... mm», «rectificar a ... mm».

g) Cuando se haya de hacer un vaciado o una ranura en una pieza, mediante una fresa de disco, se exige que, tratándose de piezas de bastante importancia, se indiquen en el dibujo *las características* (diámetro y espesor) *de la fresa* (fig. II, 26). Esto sería naturalmente superfluo para ranuras de importancia mínima, como las de las cabezas de tornillos, ranuras corrientes, etcétera.



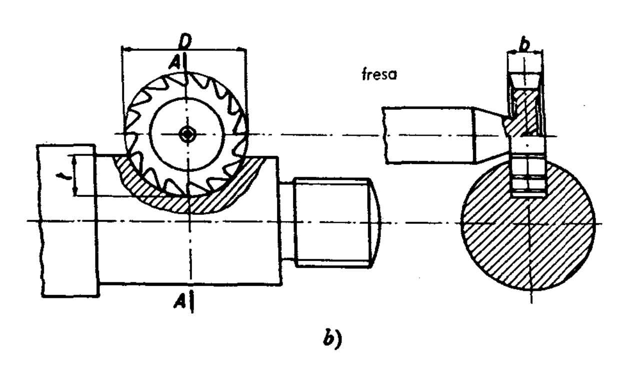


Fig. II, 26 *a, b*. ***En los dibujos de piezas importantes que presenten ranuras fresadas, se ha de indicar el tipo, diámetro y espesor de la fresa apropiada.***

Tales indicaciones son particularmente necesarias cuando se trate de tallar engranajes en fresadoras, pues es necesaria en tales casos la indicación de la fresa (módulo y n.° de dientes) que se ha de emplear (fig. II, 27).

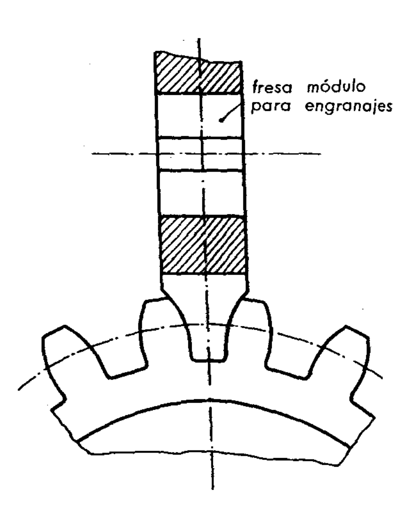


Fig. II, 27. *Las indicaciones de los elementos de la fresa son particularmente necesarias para las ruedas dentadas con dientes fresados. Los elementos que se han de indicar para la fresa son:* a) *el módulo;* b) *el número de dientes de la rueda que se ha de tallar.*

h) Téngase presente que los agujeros ciegos para el centrado de piezas que se han de montar entre punta y contrapunta de una máquina herramienta (por ejemplo, un torno) para su mecanizado, *no se han de indicar ni representar en el dibujo.*

5. Consideraciones de funcionalidad

Desde este punto de vista, se ha de tener en cuenta en el dibujo de una pieza que cada una de sus partes ha de tener la forma apropiada para cumplir las funciones que le correspondan y tener las dimensiones para resistir con seguridad los esfuerzos a que esté sometida. Por lo tanto y como ejemplo:

a) *Cuando se han de unir dos piezas mediante pernos,* las zonas de apoyo de las cabezas de los pernos han de ser planas y perpendiculares a los ejes de los respectivos pernos; es decir, se han de mecanizar. La parte plana ha de estar prevista en el dibujo (fig. 28); cuando sea posible, para no cargar la pieza con material inútil, se usan los llamados «*botones*» (fig. II, 29), engrosamientos limitados de la pieza, oportunamente referidos a la superficie de apoyo de los pernos, perpendicular al eje y cepillada.

b) *En las uniones por brida* el espesor de la brida ha de ser suficiente (fig. II, 30); y si la pieza es tubular, la brida ha de tener un espesor superior al del tubo, y prever además un redondeado (fig. II, 31).

Sobre este punto se han dado únicamente dos ejemplos sencillos, que evidentemente se podrían multiplicar. Pero no faltarán ocasiones de volver sobre este asunto en el desarrollo de los diferentes capítulos del presente texto.

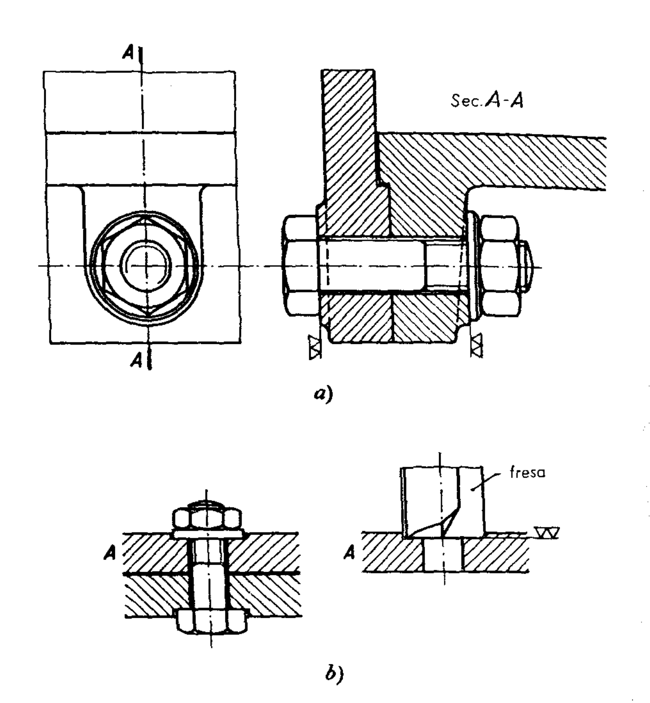


Fig. II, 28, *a, b. Dos piezas unidas con tornillos han de tener las superficies de apoyo de las cabezas de los tornillos planas y perpendiculares al eje del tornillo, tanto para asegurar un buen apoyo como para poder ejecutar eventuales avellanados.*

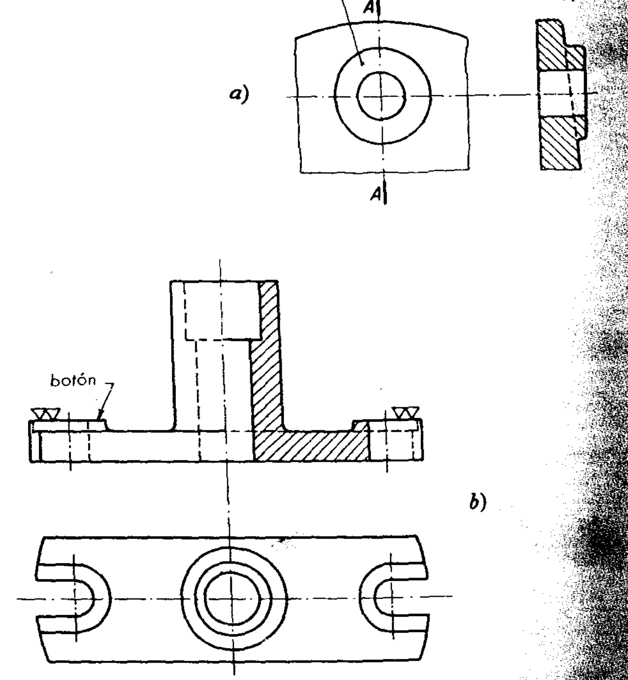


Fig. II, 29 *a, b. Cuando no sea conveniente prever un cepillado de una parte de la pieza, para no debilitarla o por otros motivos, se hace uso, al proyectarla, de los llamados «botones», que proporcionan los planos de apoyo deseados sin aumentar sensiblemente el peso de la pieza.*

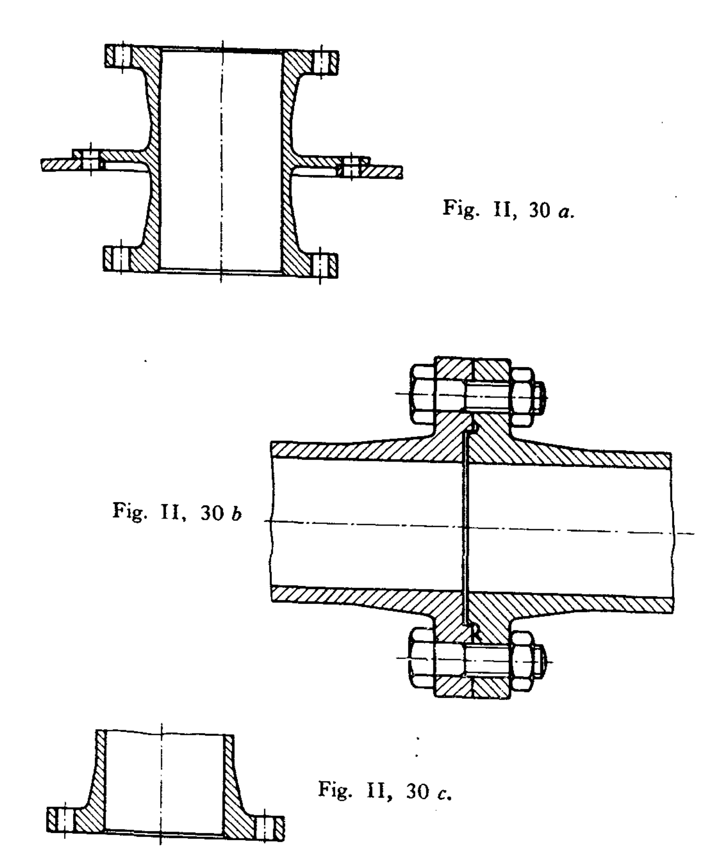

Fig. II, 30 *a.*

Fig. II, 30 *b*

Fig. II, 30 *c.*

Fig. II, 30 *a, b, c. En las uniones por brida el espesor de ésta ha de ser suficiente para asegurar una unión robusta; el aumento de espesor ha de ser gradual y redondeado.*

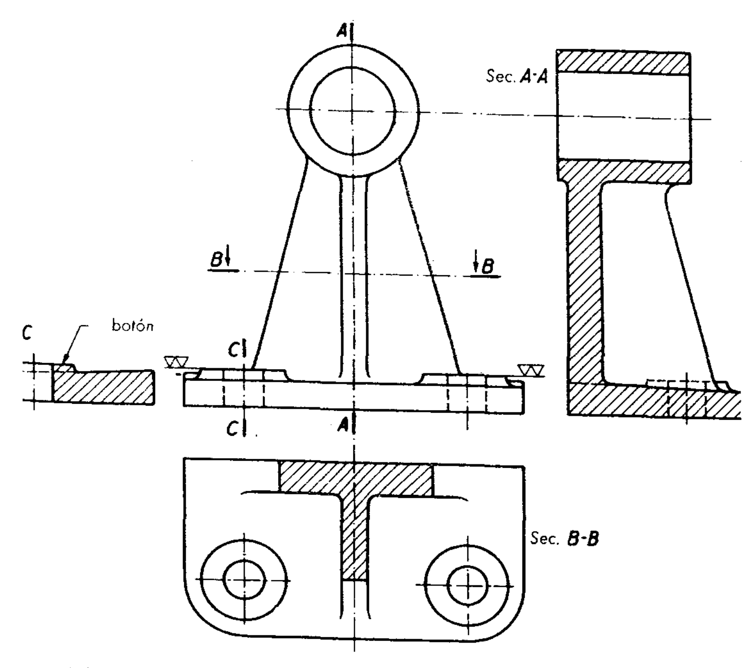


Fig. II, 31. *Aquí se ve un ejemplo de aplicación de las reglas ilustradas en las figuras anteriores: un soporte con nervios y botones.*

6. La unificación

No basta que se haga un dibujo según los conceptos acabados de exponer. Es también indispensable que *su ejecución sea tal que los técnicos encargados de la construcción de las diversas piezas y los encargados de su montaje, puedan recibir del mismo dibujo, todas las instrucciones necesarias para ejecutar su trabajo según las intenciones del proyectista.* Considerado bajo este aspecto, representa pues el dibujo técnico un *lenguaje universal,* cuyas palabras se han de aprender diligentemente por los dibujantes y los técnicos de producción.

Otras veces, la función del dibujo es más modesta que la antes indicada; se trata de tomar los datos de una pieza ya construida y de trazar su representación. Es ésta, en cambio, la primera etapa de la labor del delineante, que, partiendo del dibujo de piezas sencillas, pasando a piezas cada vez más complicadas y *aplicando constantemente las reglas del dibujo,* acaba por adquirir una gran práctica de aquel lenguaje universal y llega a dominarlo perfectamente.

Para alcanzar este resultado es evidente la necesidad de que, tanto la ejecución de los dibujos como su interpretación, se sujeten a reglas muy precisas; de modo que entregando a dos dibujantes distintos (y además, muy lejos uno de otro) dos piezas o dos conjuntos iguales, los dibujos que ambos realicen de ellos sean también iguales; y viceversa, entregando a dos operarios diferentes dos copias del mismo dibujo que represente una pieza mecánica, fabriquen ambos piezas técnicamente iguales.[1]

Esto solamente será posible si en la ejecución de los dibujos se siguen escrupulosamente todos los convenios y las normas necesarias. Si, por ejemplo, se ha de representar en un dibujo técnico un tornillo dado, será inútil representar o tratar de representar con precisión la rosca de dicho tornillo; se perdería mucho tiempo y se complicaría el dibujo sin ninguna necesidad. Será, en cambio suficiente trazar un dibujo esquemático que **por convenio** represente un tornillo; y añadir al mismo dibujo la designación que, **siempre por convenio,** corresponda a aquel tornillo determinado que se ha de representar. De este modo *se simplifica el dibujo, su ejecución es rápida y se facilita además extraordinariamente la lectura e interpretación de dicho dibujo,* **siempre que se conozcan a la perfección y sin duda alguna las normas que se han aplicado.**

Para que esto sea posible es también *necesario que los diversos tipos de una pieza determinada sean limitados.* En el ejemplo antes tratado de los tornillos, la designación de los mismos sólo será posible si los tipos de tornillos que se pueden emplear han sido anteriormente definidos y limitados según unas normas

(1) En el capítulo XI se explicará por qué hay que decir piezas técnicamente iguales y no sencillamente piezas iguales o idénticas.

a las que todos los fabricantes de tornillos se han de someter.

Este método de fijar, para cada pieza o material determinados, el modo de representar cierto número de tipos bien definidos (y adecuados, por supuesto, a las necesidades de la técnica) se llama **unificación.***

El establecer las normas de que se ha hablado es de competencia de los comités nacionales, que cada uno en su propia nación publica las tablas que cada día son más necesarias. Es evidente que el comité de unificación de cada nación, al establecer nuevas normas, tratará de que coincidan o concuerden con las ya eventualmente publicadas por los correspondientes comités de otras naciones técnicamente más desarrolladas; pero esto no es siempre fácil de realizar.

Existe, en fin, una federación internacional conocida por ISO *(International Standard Organisation)* encargada de fijar la unificación necesaria en el campo internacional. Con ello se consigue que los dibujos técnicos, por ejemplo, en Italia, se puedan aprovechar igualmente en África del Sur o en la India; y que para un tornillo fabricado en Australia pueda, por ejemplo, utilizarse la correspondiente tuerca fabricada en el Brasil. Es desde este punto de vista que el dibujo representa en el campo técnico el *lenguaje universal*, como antes se ha dicho.

Naturalmente, sólo una parte de estas tablas se refiere a la industria mecánica, por lo que solamente de ella se tratará en este texto. Se expondrán pues sucesivamente las normas generales, las correspondientes a órganos de unión, de transmisión y otros.

7. La clasificación decimal

Es evidente que las ramas a que puede aplicarse la unificación son numerosísimas. Antes de empezar el estudio de las unificaciones relativas al dibujo mecánico es oportuno dar unas nociones de la *clasificación decimal* de las distintas ramas.

Cuando por cualquier motivo se haya de tratar de numerosos y diversos temas, convendrá siempre clasificarlos, es decir, subdividirlos y ordenarlos según un esquema previamente determinado, para facilitar su busca. Entre todas las clasificaciones, señalamos la *clasificación decimal* (CD), adoptada también por el UNI, que ordena todas las ramas partiendo de la división más amplia y pasando sucesivamente a las diferentes especialidades.

En la clasificación decimal cada tema se designa con una serie de cifras, asignadas según los siguientes criterios: a cada *clase* se le asigna un número del 0 al 9; a cada *subclase* un número sucesivo del 0 al 9; a cada *nueva división* de cada una de las subclases precedentes se le asigna aun otra cifra del 0 al 9 y así sucesivamente. Entre las diez clases principales, la clase **0** es la que contiene los temas generales; la **5** corresponde a las ciencias puras; la **6** a las ciencias aplicadas; la clase **7** a las artes puras y aplicadas.

De ahí que toda cuestión de física pura o de química pura tendrá como primera cifra el **5**, cualquier tema de ingeniería llevará como primera cifra el **6**, mientras que la primera cifra de cualquier asunto referente a dibujo será el **7**.

La segunda cifra es el **2** para todas las ramas de la ingeniería; **5** para la organización; **6** para la química industrial, **7** para industrias diversas, **8** para las profesiones y oficios, etcétera.

El campo de la ingeniería (las dos primeras cifras **62**) se subdivide añadiendo una tercera cifra, por ejemplo, **1** para mecánica general, **9** para locomoción (automóviles, bicicletas, aeronáutica, etc.); la metalurgia, en cambio, se clasifica añadiendo la cifra **9** a las de la química industrial (primeras cifras **66**), designándose pues por **669**; la industria de la madera se indica con **674**, resultante de añadir el **4** (madera) a las dos cifras **67** características de industrias varias.

Cuando las subdivisiones de un tema sean más de diez, en vez de añadir una sola cifra a la combinación correspondiente a la división inmediatamente superior, se puede añadir un grupo de cifras, separado de las tres primeras con un punto; así, por ejemplo, la metalurgia del aluminio se designa con **669.74**; **669** es la metalurgia en general; **74** es el aluminio; **13** indica la función; **14** el acero; **15** los aceros aleados, etc.

Siguen, en fin, otras cifras y otros grupos de cifras para las sucesivas especialidades.

Sin embargo, la extensión de la clasificación decimal puede conducir a designaciones excesivamente largas y laboriosas. Puede, en efecto, suceder que un tema pueda encontrarse en dos divisiones distintas; en tal caso se indican las dos combinaciones, una a continuación de la otra, separadas por dos puntos. Por ejemplo, la nomenclatura del horno Martin se designa por **CD 669.183.211.1:001.4.** El grupo **669** indica la metalurgia; el **001**, los asuntos generales.

Se ha creído oportuno dar unas nociones sobre esta clasificación, pero sería inútil insistir o extenderse más sobre la misma; únicamente puede tener suma importancia para empresas que se ocupen de todos los asuntos relativos a todas las ramas del conocimiento humano y tengan, por tanto, necesidad de clasificarlos. Para los negocios de campo restringido, las clasificaciones de este tipo tienen escasa aplicación; sin embargo, es conveniente para el dibujante tener una idea de la misma, porque se aplica en el Catálogo de las normas UNI ** encabezando las tablas.

* En España es más corriente la palabra normalizado en lugar de unificado, pero hemos preferido emplear esta última palabra por su correspondencia con UNI de las tablas y designaciones. Éstas no corresponden exactamente a las normas DIN, empleadas en la mayoría de las industrias y talleres de España. *N. del T.*

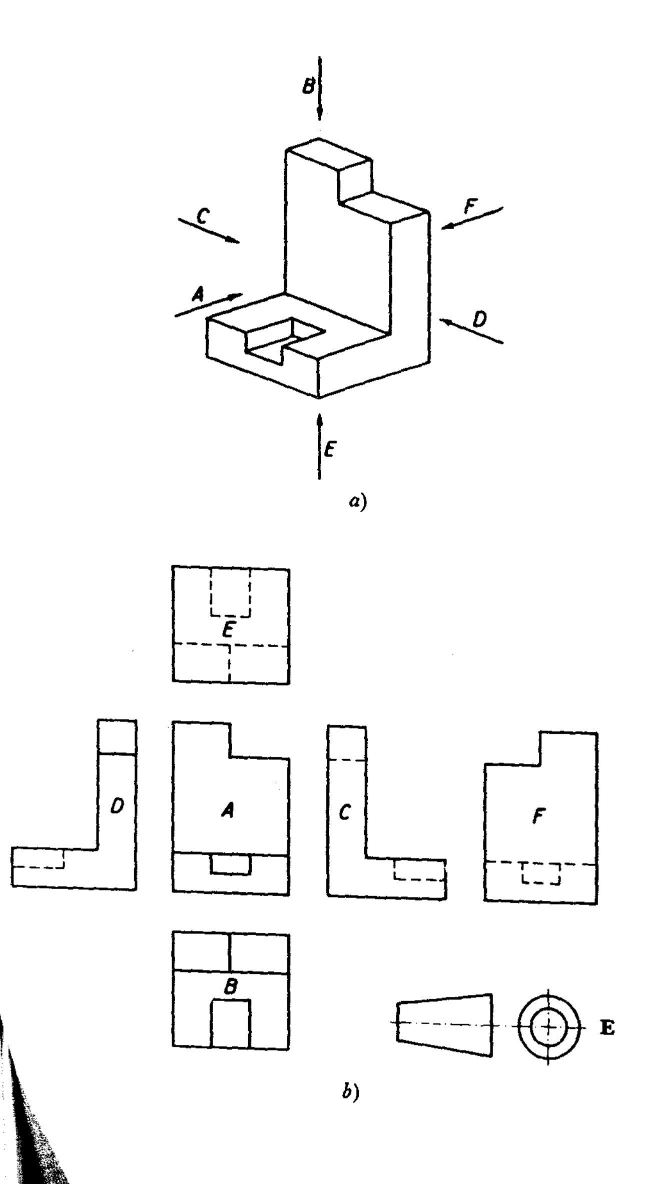
** En España se emplean generalmente las normas DIN que edita el Comité de Normas Alemán, cuyas tablas van igualmente encabezadas por la designación de la clasificación decimal CD. *N. del T.*

8. Disposiciones de las proyecciones

En los casos más corrientes, para realizar el dibujo técnico mecánico de un objeto, se pueden emplear las **6** diferentes proyecciones del mismo, como se ha explicado anteriormente, proyecciones efectuadas siguiendo las 6 direcciones indicadas por las flechas en la figura II, 32.

Para evitar posibles confusiones, es necesario determinar con toda claridad la posición recíproca de las diferentes proyecciones de un objeto.

Sobre este punto se ha tratado extensamente en la parte I de este texto. Pero es necesario recordarlo brevemente, porque *mientras que en Italia y en toda Europa se disponen las seis proyecciones según las reglas indicadas en el capítulo III, no sucede lo mismo en América,* donde se observan normas diferentes. Estos conceptos quedan expuestos categóricamente en la reciente tabla **UNI 3970,** en la que se fijan las denominaciones de cada una de las proyecciones y sus posiciones recíprocas.



Según dicha tabla, las denominaciones de las proyecciones son las siguientes:

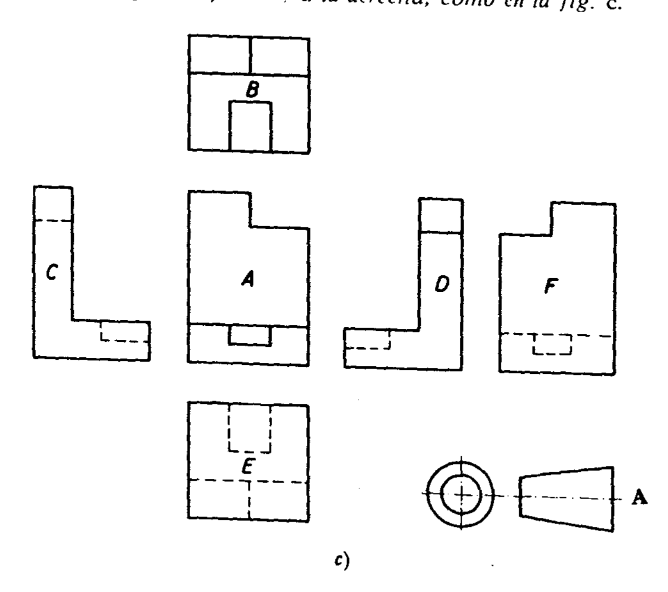
Vista según **A** = *Vista anterior* (principal)
» » **B** = » *por encima*
» » **C** = » *por la izquierda*
» » **D** = » *por la derecha*
» » **E** = » *por debajo*
» » **F** = » *posterior*

Es evidente que la vista principal **A** ha de representar siempre el objeto *en la posición normal de utilización*. Cuando no exista tal disposición normal de utilización, se aconseja representar el objeto *según la posición de ejecución*, o, en todo caso, en la *posición más expresiva* y que permita una disposición ventajosa de las otras vistas.

En los dibujos según el sistema europeo, la vista según **C** se coloca a la derecha de la principal; y la según **D** a la izquierda; correlativamente, la vista según **B** va colocada *debajo* de la principal, la vista según **E** *encima*, o sea, que las diferentes vistas están dispuestas *según las reglas normales de proyección*. Por lo tanto, la disposición corriente de las proyecciones es la que se puede ver en la figura II, 32 *b*). El símbolo de este sistema de disponer las proyecciones, llamado sistema **E** *(europeo)* se indica al pie con **E.** *Este símbolo debe acompañar siempre los dibujos técnicos ejecutados siguiendo el sistema europeo.*

En cambio, en América (y en algunos otros Estados) las proyecciones **C** y **D** y las proyecciones **B** y **E**

Fig. II, 32. *Proyecciones ortogonales de una pieza. Las seis vistas se disponen generalmente como se indica en la fig.* b *(sistema europeo), y en este caso se ha de poner, en las indicaciones del dibujo, el símbolo* **E**, *como se ve en la parte inferior derecha de la fig.* b; *pero también se pueden disponer en la forma que indica la fig.* c *(sistema americano); y en este caso se ha de indicar con el símbolo* **A**, *puesto en la parte inferior y a la derecha, como en la fig.* c.



están invertidas respectivamente, por lo que, para las 6 proyecciones resultan las posiciones recíprocas indicadas en la figura II, 32 *c*). El símbolo de este sistema, llamado *sistema* **A** *(americano)*, se indica con **A**.

Es necesario tener muy presente estas diferencias, porque debido a la gran difusión de dibujos americanos en Europa y europeos en América, podrían originarse graves confusiones. No obstante, por ahora, todavía no se ha generalizado en Italia el uso del símbolo **E**, sino que se limitan a añadir el símbolo **A** a los escasos dibujos que adoptan el sistema americano.

Por lo regular, para representar un objeto, se emplean las *tres vistas* **A, B, C** (fig. II, 33 *a*); pero también pueden ser suficientes *sólo dos vistas* (fig. II, 33 *b*), si con ellas queda completamente representado el objeto, sin dar lugar a dudas. Cuando se añadan indicaciones complementarias que permitan caracterizar completamente la forma del objeto, puede aún ser suficiente el empleo de *una sola vista* (fig. II, 34).

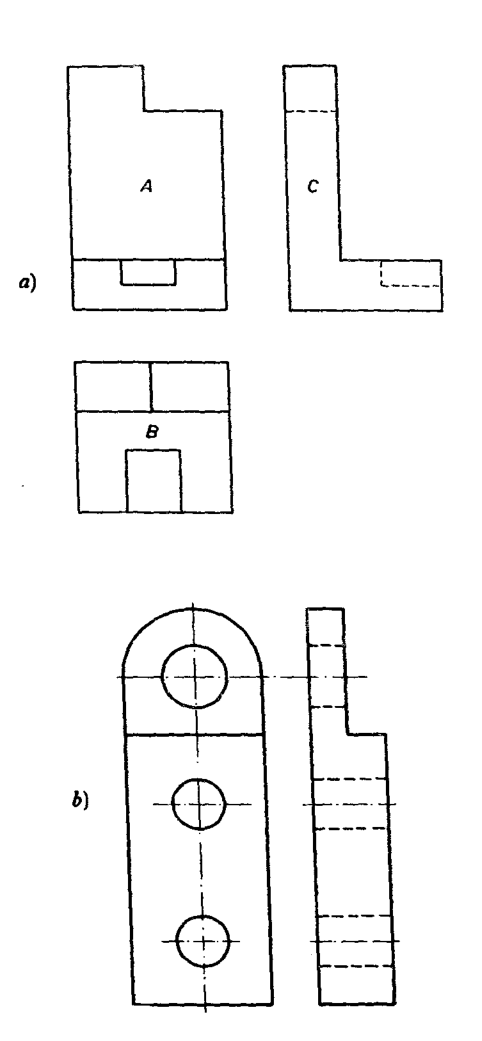
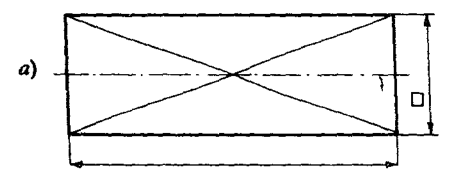


Fig. II, 33. *En general para representar una pieza, se usan las tres vistas* ABC *(fig.* a*); pero a veces será suficiente usar sólo dos vistas, cuando de esta manera resulta la pieza claramente determinada, sin dar lugar a dudas (fig.* b*).*



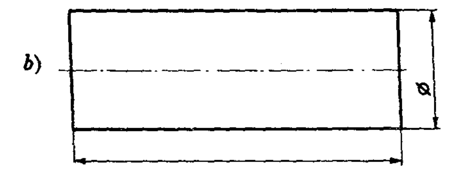


Fig. II, 34. *Cuando se añaden indicaciones complementarias, puede ser suficiente una sola vista. La fig.* a *es suficiente, porque lleva el símbolo que indica que la sección de la pieza es cuadrada; análogamente la fig.* b *lleva el símbolo de las secciones circulares.*

Las diferentes vistas se han de disponer, en cuanto sea posible, conforme a la disposición general determinada y cerca de la vista principal; los ejes comunes a varias vistas han de estar siempre *uno sobre la prolongación del otro*. Por excepción *se puede disponer alguna vista de modo diferente*, si prácticamente resulta más conveniente (fig. II, 35); pero en este caso se ha de indicar *la dirección de la proyección mediante una flecha y una letra.*

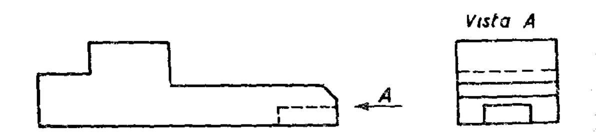


Fig. II, 35. *Cuando en algún caso especial se necesite una vista dispuesta en forma distinta de la ordenada, se debe indicar la dirección de la proyección mediante una flecha y una letra, como se ve en la figura.*

Cuando lo requiera la forma de la pieza, se pueden usar vistas auxiliares con los ejes principales oblicuos (fig. II, 36), indicando siempre con una flecha y una letra la dirección de proyección.

Finalmente, en el caso de que en una de las vistas, siguiendo las reglas normales de proyección, resulten *partes vistas de escorzo, pueden rebatirse* para mayor claridad *sobre el plano del dibujo* (fig. II, 37); pero en tal caso, *se ha de indicar*, con arcos de circunferencia de línea fina, de trazo y punto, *la rotación sufrida por uno o más puntos* de especial importancia

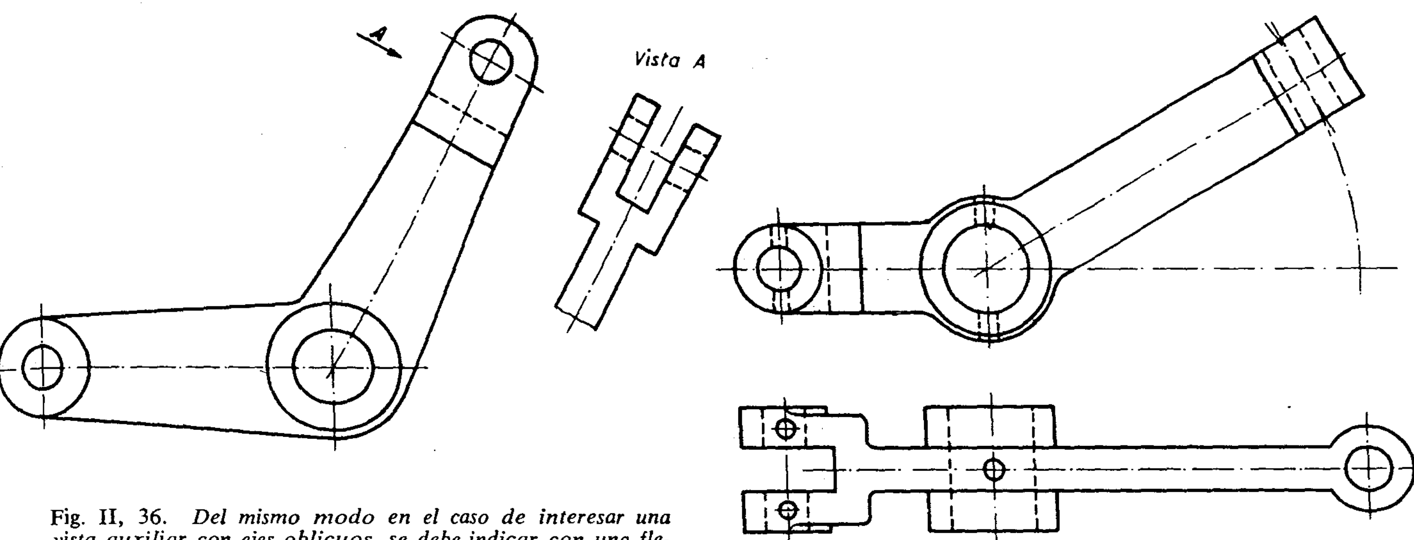


Fig. II, 36. *Del mismo modo en el caso de interesar una vista auxiliar con ejes oblicuos, se debe indicar con una flecha y una letra la dirección de la proyección.*

Fig. II, 37. *La parte que en la planta, según las reglas de proyección, resultaría vista de escorzo, se ha de rebatir sobre el plano del dibujo, indicando con una línea mixta fina la rotación experimentada por uno o más puntos importantes.*

a)

b)

c)

Fig. II, 38. *Cuando se haya de hacer el dibujo técnico de la pieza mecánica representada por la axonometría* a, *se dibuja ante todo el croquis a pulso* b; *luego se aplican al croquis todas las indicaciones que se irán exponiendo en los capítulos sucesivos, y finalmente se trazará a escala, con los instrumentos, el dibujo provisto de todas las indicaciones* (fig. *c*)

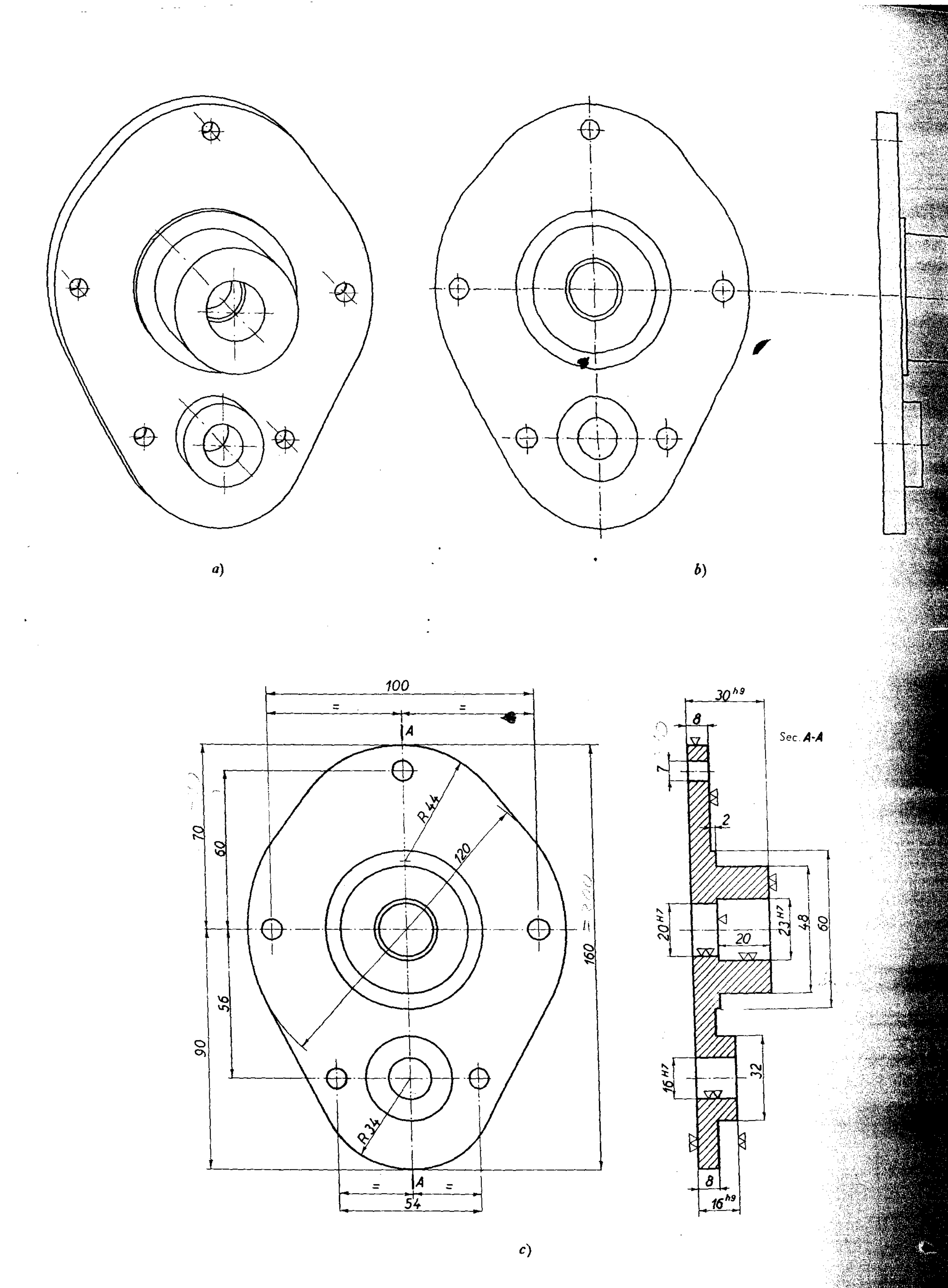


Fig. II, 39. *Es otro ejemplo perfectamente análogo al anterior.*

9. Croquis y dibujo técnico de una pieza mecánica

Después de exponer estas disposiciones generales, se puede volver sobre la primera y más sencilla actividad del delineante, que es la de trazar el dibujo de una pieza ya fabricada para enviarlo, por ejemplo, al taller, para la fabricación de otras piezas iguales (para recambio).

En este caso, colocada la pieza en la posición conveniente según los consejos anteriores, se empieza por dibujar un croquis. Éste, que se puede trazar con más facilidad sobre papel milimetrado, consiste en el dibujo a mano alzada (o sea, sin ayuda de ninguna clase de instrumentos) de dicha pieza, con el número necesario de vistas (y también de cortes, como se verá a continuación).

Al trazar el croquis se **deben** *observar las reglas del dibujo, especialmente las ya señaladas sobre las proyecciones y su disposición.* El croquis se ha de completar luego *con todas las indicaciones necesarias.* Hecho esto, se pasa al propio y verdadero dibujo, trasladando el croquis *a escala* y dibujándolo de modo perfecto.

Para hacerse cargo de la diferencia que hay entre un primer esbozo del croquis y el dibujo terminado de una misma pieza, obsérvense las figuras II, 38-89. En las mismas se indica con *a* la pieza que se ha de dibujar, representada en evidente axonometría; con *b* se indica el croquis simple, o sea, sin ninguna de todas aquellas indicaciones que se enseñará a añadir; con *c* se ha indicado el dibujo acabado.

Dispongámonos ahora a pasar revista a todas las reglas, a todos los convenios y a todos los artificios que se han de aplicar para pasar del croquis primitivo al dibujo acabado.

Sin embargo, se ha de añadir que no siempre se ha de pasar del croquis de la pieza al dibujo a escala hecho de modo perfecto. Puede en algún caso pedirse al dibujante la ejecución rápida del croquis de una pieza para su uso inmediato, por una sola vez, cuando se exija al taller la fabricación urgente de dicha pieza, por ejemplo, para sustituirla a causa de una avería.

Es evidente que, en casos semejantes, el croquis puede sustituir al auténtico dibujo técnico, que en realidad no se efectuará, lo que supone un ahorro no despreciable de tiempo y dinero. Naturalmente, en casos análogos, se ha de poner el mayor cuidado en el dibujo del croquis, en la colocación exacta de todas las cotas, y de todas las indicaciones relativas al trabajo, que sean necesarias para la fabricación de la pieza representada. En una palabra, en el croquis ha de figurar todo lo que aparecería en el dibujo técnico completo y acabado, con la única diferencia de que el croquis generalmente no se dibuja a escala, sino que se traza sin emplear instrumentos y sin que las indicaciones escritas sean hechas con excesiva minuciosidad ni pulcritud.

10. Dibujos en axonometría

Es conveniente insistir todavía en que, como se ha dicho en el n.° 27 de la parte I, los dibujos técnicos, además de efectuarse según las reglas de las proyecciones ortogonales ya explicadas y de las normas indicadas en el n.° 8 (normas suplementarias unificadas sobre el mismo tema) pueden efectuarse también en axonometría.

En la tabla **UNI 3969,** la selección del tipo de proyección axonométrica que se puede emplear en los dibujos técnicos está muy limitada, a tres tipos exactamente, derivados, sin variaciones importantes, de las axonometrías ya estudiadas en el n.° 29 de la parte I. Las modificaciones sugeridas lo han sido en consideración a la comodidad y la eficacia de la representación y ejecución.

Axonometría isométrica. La tabla UNI, correspondiente a esta axonometría, tiene una errata en la magnitud del ángulo, indicándolo de 70° en lugar de 60°. A continuación se ha añadido a la citada tabla una corrección *parcial,* que confirma que la magnitud del ángulo es de 60°. Queda pues bien claro que esta magnitud es efectivamente **60°**. Con este valor del ángulo en lugar del otro, se facilitan notablemente muchas construcciones (especialmente las elipses) (fig. II, 40).

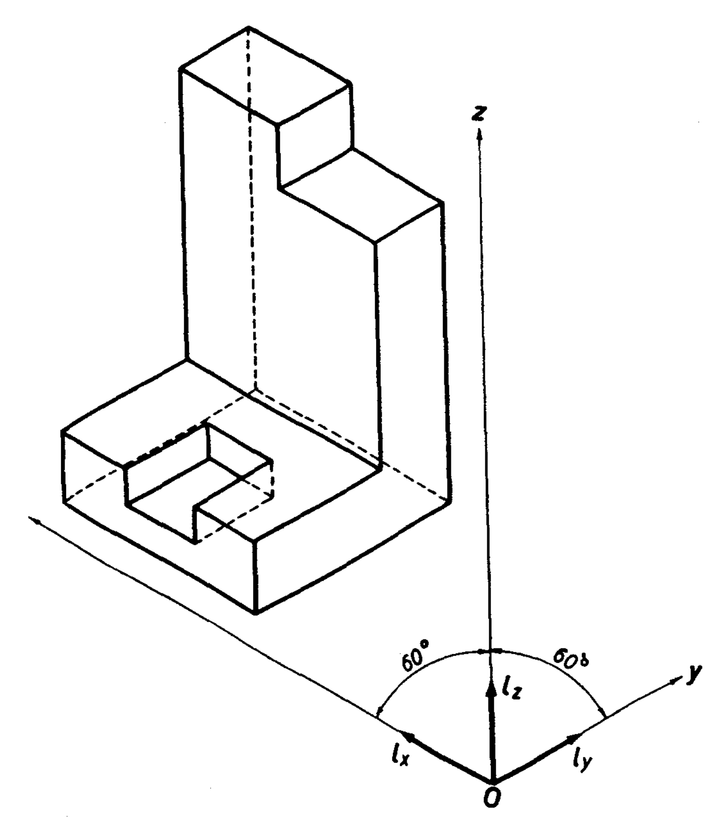


Fig. II, 40. *Representa un objeto en axonometría isométrica según las últimas normas UNI.*

Axonometría bimétrica (fig. II, 41). Los coeficientes de representación son **1** : 1/2 : **1**. Los ángulos de los ejes se han redondeado a los valores $\alpha = \mathbf{83^\circ}$; $\beta = \mathbf{48^\circ}$. Las otras axonometrías bimétricas no se emplean en los dibujos técnicos.

Proyección oblicua o *axonometría caballera* (fig. II, 42). Esta proyección no ha sufrido variaciones con respecto a la de **45°** expuesta en el n.° 29 de la parte I.

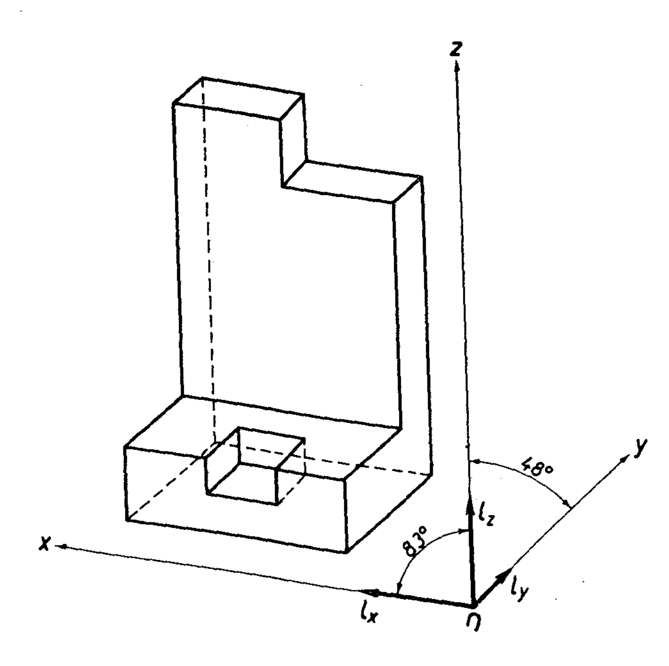


Fig. II, 41. *Representa el mismo objeto de la* fig. II, 40 *en axonometría bimétrica, según las últimas normas UNI.*

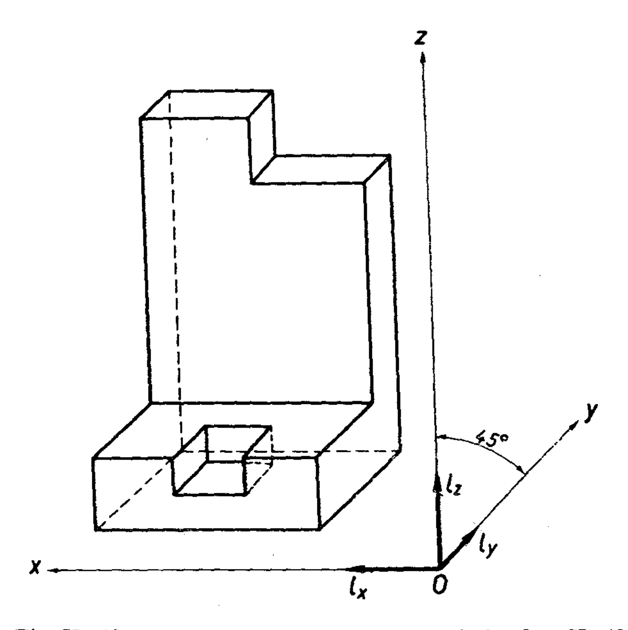


Fig. II, 42. *Representa el mismo objeto de las* figs. II, 40 *y* 41 *en proyección oblicua, según las últimas normas UNI.*

Capítulo II

NORMAS SOBRE LA PRESENTACIÓN DE LOS DIBUJOS

11. Formato de los dibujos

En la tabla **UNI 936-937** se indican los formatos unificados empleados en los dibujos técnicos de todas clases, calcos, reproducciones, etc. En ella se indican las medidas del recuadro y las mínimas de las hojas no recortadas.

Los formatos normales en milímetros son los siguientes, con referencia a la figura II, 43 (tabla 1):

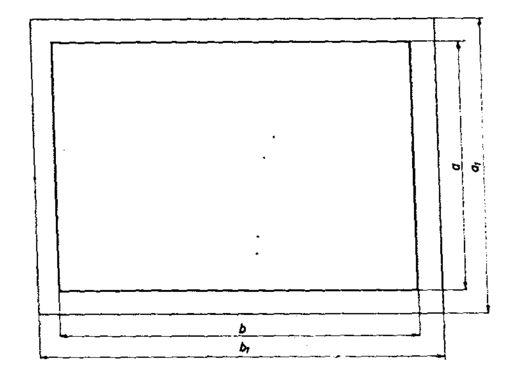


Fig. II, 43. *Tamaños unificados de las hojas para los dibujos técnicos.*

Tabla 1

Formato de los dibujos

Indicaciones para la designación	Hojas recortadas		Hojas sin recortar	
	a	b	a_1 mínimo	b_1 mínimo
A 0	841	1189	880	1230
A 1	594	841	625	880
A 2	420	594	450	625
A 3	297	420	330	450
A 4	210	297	240	330
A 5	148	210	165	240
A 6	105	148	120	165

Las tablas **UNI** tienen el formato **A4.**

Se puede también disponer de formatos alargados, como los que se mencionan en la tabla, y sobre los que no es necesario extenderse.

Para los rollos de papel o tela para dibujar se han fijado las siguientes alturas en mm: se recomiendan las indicadas en negrilla: **1560; 1230;** 900; **880;** 660; **625; 450; 330.**

12. Disposición del dibujo y de las rotulaciones en las hojas - Plegado de las hojas

La tabla **UNI 938-940** establece que:

Las hojas de dibujo pueden usarse *tanto apaisadas,* como aparecen en la figura II, 44, *como verticales,* según la II, 45.

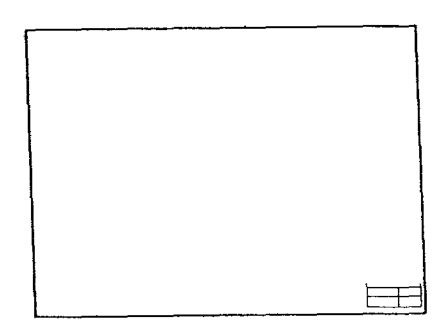


Fig. II, 44. *Hoja para dibujo, para usar en sentido apaisado, con la posición del cajetín.*

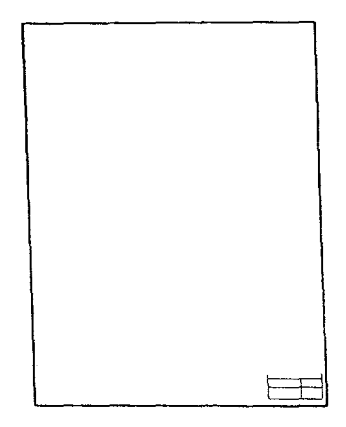


Fig. II, 45. *Hoja para dibujo, para usar en sentido vertical, con la posición del cajetín.*

En las hojas de formato **A3** y en las de mayor tamaño, el título del dibujo, la rotulación, etc., se han de inscribir en un cajetín colocado *en el ángulo inferior derecho de la hoja,* como se indica en las figuras. La máxima anchura del cajetín es de 185 mm.

El plegado de las hojas ha de hacerse de modo que resulten pliegos del formato **A4,** en cuyo fronstispicio ha de figurar el cajetín de la rotulación.

Se pueden efectuar dos clases distintas de plegado, según que se haya de dejar o no el margen para la encuadernación en fascículo.

Cuando se ha de dejar dicho margen, el plegado se ha de hacer alternativamente hacia adelante y hacia atrás, de modo que el dibujo quede dividido en cuadros de 185 mm en sentido apaisado y 297 mm en sentido vertical, a partir del lado derecho. En el lado izquierdo, en cambio, se ha de dejar un margen de 210 mm de ancho para formar el margen de encuadernación. Según sean los formatos de las hojas, los plegados se harán algo diferentes, como indican las figuras II, 46-47. Para las hojas de formato **A2** las medidas del plegado son algo mayores (fig. II, 48).

En todas las hojas de altura superior a 297 mm, la primera operación a realizar consiste en plegar hacia

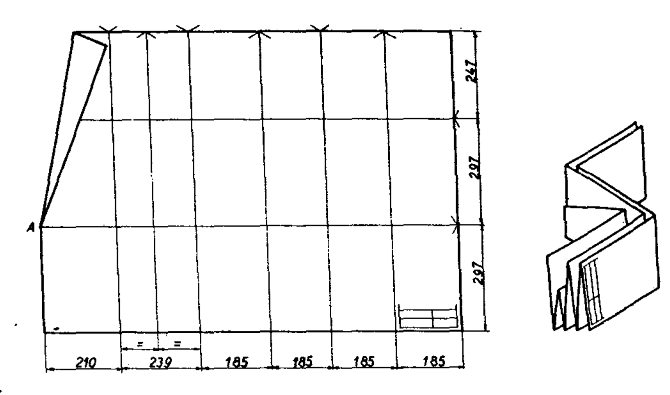


Fig. II, 46. *Plegado unificado de un dibujo de formato* **A0.**

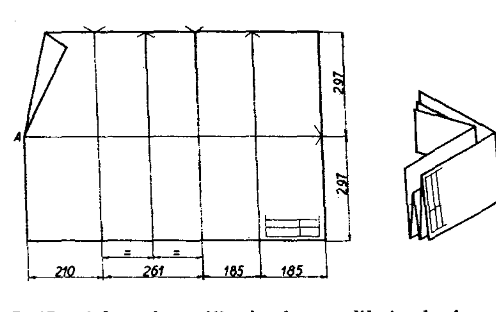


Fig. II, 47. *Plegado unificado de un dibujo de formato* **A1.**

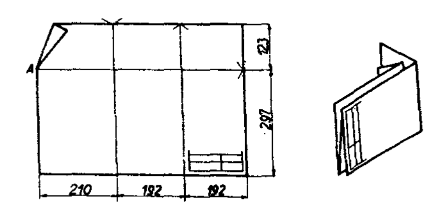


Fig. II, 48. *Plegado unificado de un dibujo de formato* **A2.**

adelante una parte triangular del lado izquierdo, como se ve en las figuras, para facilitar la encuadernación en fascículo.

Si no es necesario el margen de encuadernación, se efectúa el plegado a partir del lado derecho y del ángulo inferior, para formar cuadros de 210 × 297 (fig. II, 49). Se han previsto además el taladrado de

las hojas para encuadernarlas y otros sistemas diferentes de plegado para dibujos de grandes dimensiones.

Para todos estos detalles, véase la citada tabla **UNI.**

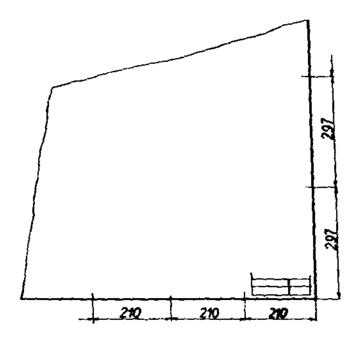


Fig. II, 49. *Plegado unificado de un dibujo de formato* A3.

13. Tipos y anchuras de las líneas

Todo dibujo técnico, además de proporcionar todas las indicaciones necesarias para la fabricación de una pieza en el taller, ha de ser armónico en todos sus detalles, tener su propia estética y presentar las indispensables indicaciones escritas bien realizadas y de dimensiones adecuadas al conjunto del dibujo.

Para lograr que los dibujos cumplan todos estos requisitos, el UNI ha difundido las normas oportunas, que se expondrán a continuación, empezando por las relativas a los tipos y anchuras de las líneas. La tabla **UNIM 7** referente a ellos, ha sido sustituida en octubre de 1957 por la nueva tabla **UNI 3968.**

En los dibujos técnicos se utilizan 6 diferentes tipos de líneas, indicados con las letras *A, B, C, D, E, F;* cada una de las cuales tiene su propia función y a la que se ha de limitar estrictamente su uso. Las líneas utilizables tienen diferente anchura; ésta se indica por un número que representa aproximadamente la anchura en décimas de milímetro (fig. II, 50).

Tabla 2

Tipos de líneas y denominaciones	Relaciones de anchuras recomendadas respecto a la usada para la línea A	Empleos típicos
A Continua gruesa	1	Perfiles y aristas vistas
B Continua fina	1/4	Contornos y aristas ficticios, líneas de medidas y de referencia, rayados, representaciones de piezas indicadas a título de referencia, contornos de secciones rebatidas anexas
C Continua fina irregular	1/4	Límite de la vista o corte parcial, cuando este límite no sea un eje de simetría
D De trazos medios	1/2	Contornos y aristas ocultos
E Mixta fina (trazos largos y cortos)	1/4	Ejes, posiciones extremas de partes móviles, partes puestas anteriormente en un plano de sección
F Mixtas finas y gruesas (trazos largos y cortos)	1 - 1/4 - 1	Trazas de planos de sección

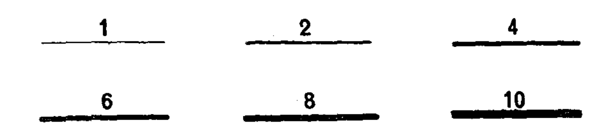


Fig. II, 50. *Anchura de las líneas empleadas en los dibujos técnicos. El número puesto encima de cada línea indica su anchura aproximada en décimas de milímetro.*

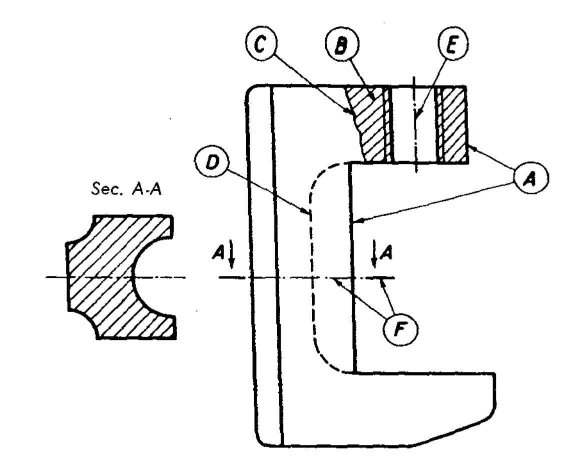


Fig. II, 51. *Ejemplo de aplicación de los tipos de líneas recomendados.*

En la tabla 2 se han representado los seis tipos de líneas y para cada uno de ellos se indica su correspondiente uso típico. En la segunda columna de la tabla está indicada la proporción de anchura de cada línea con respecto a la *A*, que se considera como fundamental.

Puede ocurrir que, por exigencia de dibujos técnicos especiales, sea indispensable el empleo de *líneas diferentes de las indicadas* (por ejemplo, dos trazos largos y dos trazos cortos alternados, etc., en esquemas eléctricos, esquemas de tuberías u otros). En este caso, las normas adoptadas excepcionalmente se han de especificar en el dibujo con notas evidentes o con llamadas en el mismo dibujo, de modo que no puedan surgir confusiones.

En la figura II, 51 se presenta un ejemplo de aplicación de los tipos de líneas recomendados; el tipo de cada línea está indicado con la correspondiente letra; examinando, pues, la figura se comprenderá aún más claramente el uso adecuado de los tipos *A, B, C, D, E, F.*

Expuesto esto, con el fin de alcanzar la armonía en el dibujo de que hemos hablado, se han fijado **4** *grupos de líneas* (en la unificación anterior los grupos eran cinco), grupos que toman, respectivamente, los nombres de líneas *finas, medias, gruesas y muy gruesas* (fig. II, 52).

En un dibujo sólo se pueden emplear líneas del mismo grupo.

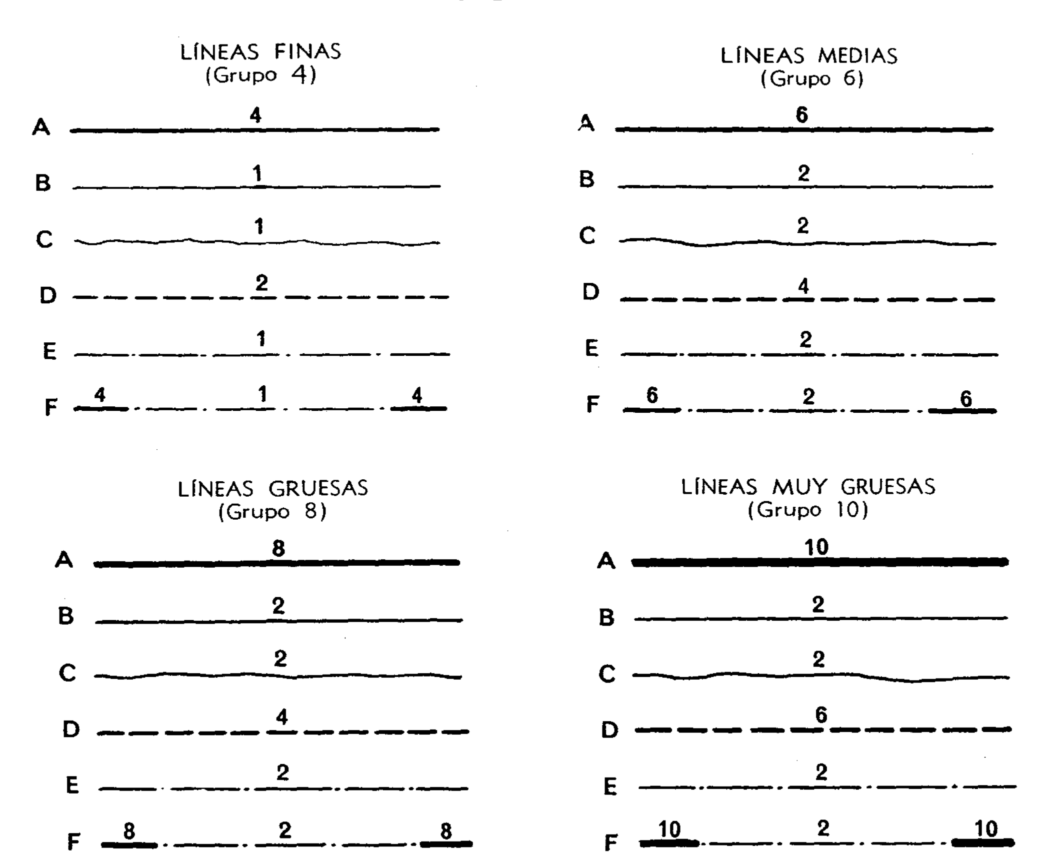
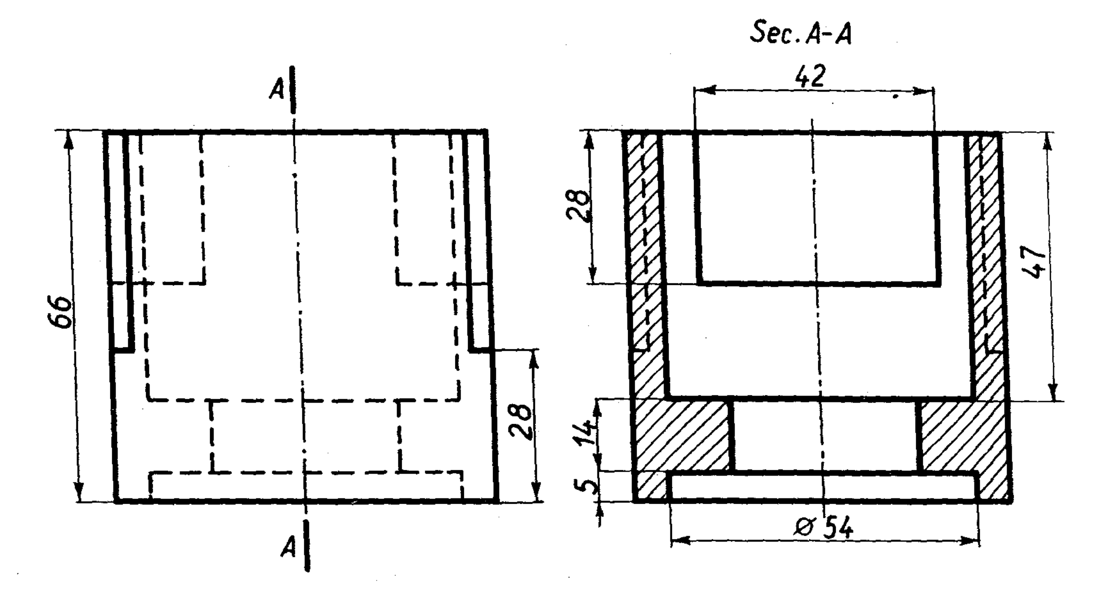


Fig. II, 52. *He aquí los cuatro grupos de líneas unificados hace poco. La letra puesta al lado de cada línea indica su tipo: el número de encima indica la anchura aproximada en décimas de milímetro.*



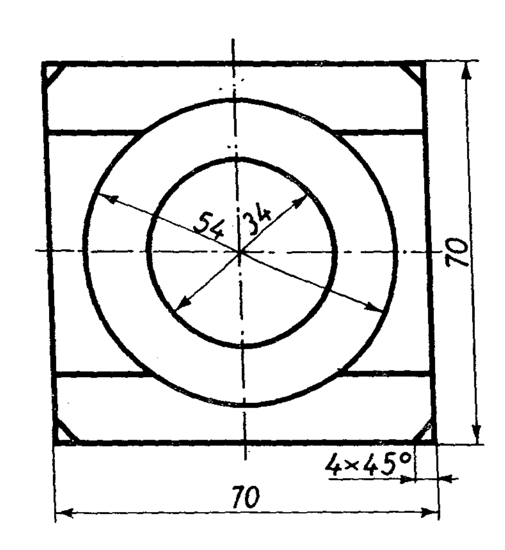


Fig. II, 53. *He aquí un ejemplo de elección poco afortunada de líneas muy gruesas (grupo 10) en un dibujo. El dibujo resulta excesivamente pesado, porque las líneas muy gruesas conviene usarlas en dibujos de dimensiones mucho mayores. En éste se tenían que usar las líneas medias o a lo más las gruesas.*

En la figura II, 53 se representa un dibujo en el que se han empleado las líneas muy gruesas; en cambio, en la figura II, 54 se han usado las líneas finas.

14. Rotulaciones

Es inútil trazar un dibujo perfecto si no se acompaña de una buena rotulación, tanto en el aspecto de claridad como en el estético.

En los dibujos técnicos se usan dos tipos de caracteres, derechos e inclinados; el carácter derecho está unificado en la tabla **UNIM 2,** aquí reproducida (tabla 3).

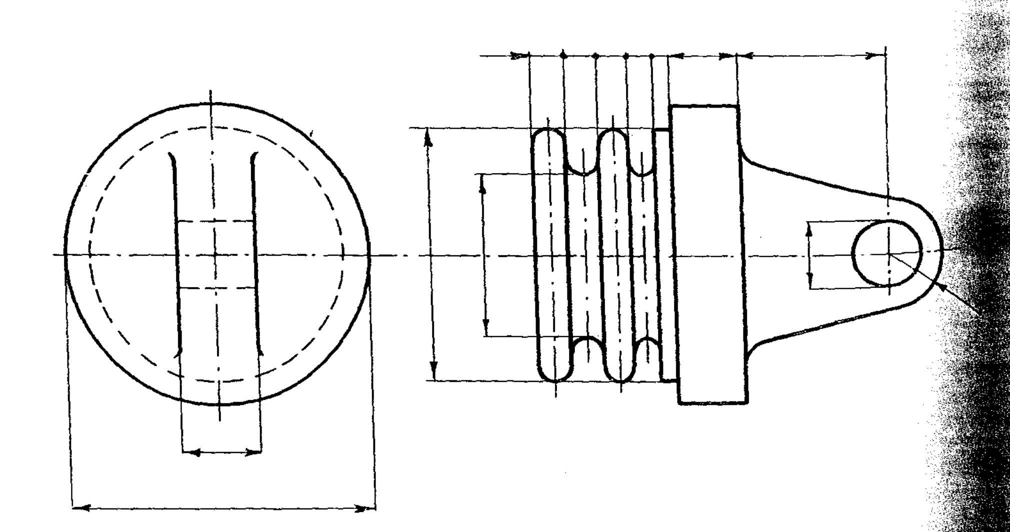


Fig. II, 54. *Ejemplo de aplicación correcta de líneas finas (grupo 4).*

UNIM	DIBUJOS TÉCNICOS Caracteres y cifras	2 21 diciembre 1922

2,5
ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ
abcdefghkijlmnopqrstuvwxyz
1234567890 VII XI V

3,5
ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ
abcdefghijklmnopqrstuvwxyz
1234567890 XI V XVII

5
ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ
abcdefghijklmnopqrstuvwxyz
1234567890 XII VI II

7
ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ
abcdefghijklmnopqrstuvwxyz
1234567890 XII VI

10
ABCDEFGHIJKLMNOPQ..YZ
1234567890 VI XII

5 5 8 6 6 10 8 8 15 10 10 20 15

Los caracteres en mayúsculas sirven para los encabezamientos y los títulos; los que van en minúsculas, para los subtítulos, las anotaciones, etc. El tipo de escritura con caracteres de 10 mm de altura no tiene minúsculas.

La altura de las letras minúsculas es 2/3 de la altura de las correspondientes mayúsculas.

Los caracteres de alturas de 2,5 y 3,5 mm se trazan normalmente a pulso; se pueden dibujar tanto verticales como inclinados.

Los caracteres de alturas de 5 mm o más se trazan con plantilla «normógrafo».
Las separaciones entre las líneas de escritura son de dos dimensiones para cada tipo de escritura. Las separaciones menores se aconsejan entre líneas sucesivas escritas con un mismo tamaño de caracteres; las separaciones mayores para líneas sucesivas escritas con caracteres de tamaño diferente: en este caso, atenerse a la separación apropiada a los caracteres de mayor tamaño.

(Es obligatorio atenerse a la presente tabla para todos los dibujos correspondientes a documentos que se presenten a la Administración del Estado (Decreto de la Presidencia de 8 octubre 1924. Gaceta Oficial n. 252 del 27 octubre 1924).

a b c d e f g h i j k l m

n o p q r s t u v w x y z

Fig. II, 55.

A B C D E F G H I

J K L M N O P Q R

S T U V W X Y Z

1 2 3 4 5 6 7 8 9 0

Fig. II, 56.

Fig. II, 55. *Sentido en que se han de trazar las letras minúsculas de gran tamaño para los títulos de los dibujos.*

Fig. II, 56. *Sentido en que se han de trazar las letras mayúsculas y los números de gran tamaño, para los títulos de los dibujos.*



Fig. II, 57. *Normógrafo y modo de usarlo.*

Para unos y otros es necesario trazar previamente las líneas paralelas que determinan la altura señalada para las letras y los números.

De la tabla se saca también la distancia entre líneas sucesivas, que resulta conveniente para claridad y estética.

En las figuras II, 55-56 se indica el sentido en que se ha de mover la plumilla de la pluma «graphos» para el trazado de cada letra, cuando se trata de rotulaciones en grandes caracteres, para el título del dibujo. Para caracteres de menor tamaño, los dibujantes rotulan en general con gran facilidad, sin someterse a normas especiales de trazado.

Para los títulos de los dibujos, y también con frecuencia para las escrituras con caracteres menores, se usan generalmente, en particular por los dibujantes que no tienen el pulso muy ejercitado en rotulaciones, los *normógrafos*, plantillas de celuloide o de otro material plástico transparente; siguiendo con una plumilla especial de tubito los vaciados de la plantilla, se obtienen rotulaciones perfectas.

Los normógrafos se usan apoyándolos y deslizándolos sobre una regla (fig. II, 57). Los soportes de madera en que se introducen las plantillas, mantienen a ésta levantada sobre el papel, evitándose que al deslizar el normógrafo se produzcan manchas cuando las diversas letras de la línea que se está escribiendo tengan todavía la tinta fresca.

Cuando se usa el normógrafo para escribir con lápiz, se prescinde del soporte y se apoya la plantilla directamente sobre el papel, guiada siempre por la regla.

Capítulo III

SECCIONES Y ROTURAS

15. Secciones

No siempre son suficientes las tres o más vistas de una pieza para representarla completamente. Se ha dicho que en toda proyección las líneas ocultas se pueden representar con líneas de trazos; pero es evidente que si las líneas ocultas son demasiado numerosas o tienen una disposición complicada, pueden originar confusión en el dibujo, en lugar de facilitar su comprensión. Se ha de considerar además que hasta ahora no se ha tratado del acotado de los dibujos; si se tuviesen que acotar también muchas líneas ocultas, el dibujo sería inevitablemente confuso.

Por esto frecuentemente se añaden a las proyecciones del objeto una o más *secciones* o cortes, que muchas veces permiten prescindir de alguna vista.

Según la definición que da la última tabla **UNI 3971,** «*sección es la representación de la parte del objeto que queda después de un corte ideal efectuado según uno o más planos (generalmente perpendiculares a un eje o pasando por un eje de la pieza)*».

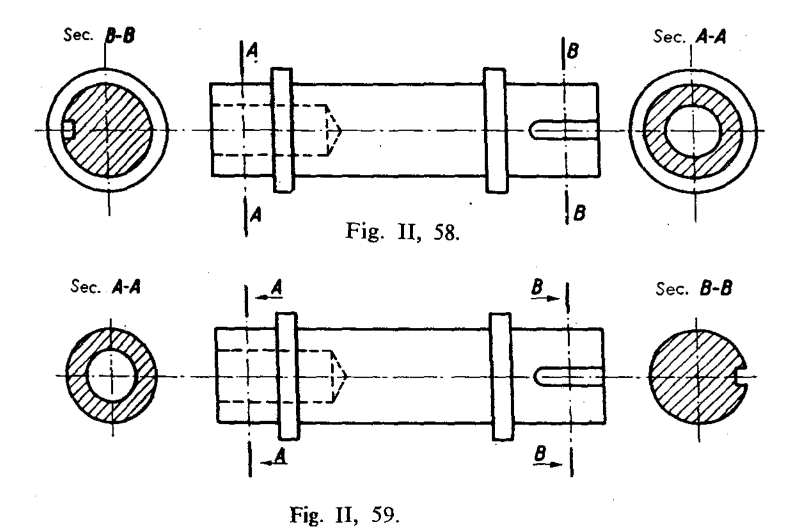
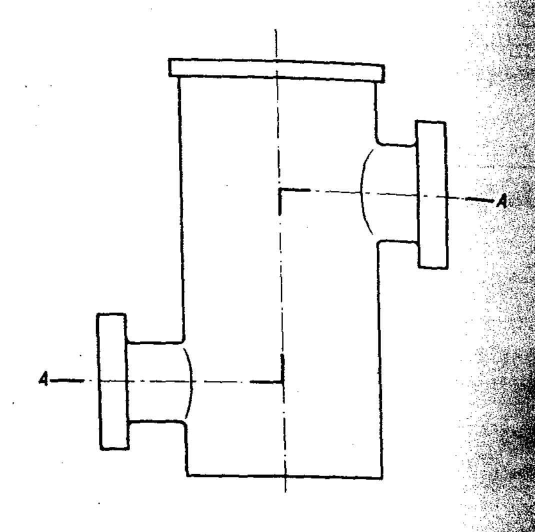


Fig. II, 58.

Fig. II, 59.

Figs. II, 58-59. *Cada sección se ha efectuado según un solo plano. En la* figura II, 58 *se han colocado las dos secciones* AA *y* BB *en la disposición regular. En cambio, en la* figura II, 59, *se han dispuesto las secciones (por comodidad) de modo contrario a la regla general; en este caso* **se deben** *poner las flechas indicadas en la figura y la sección dibujada* se ha de limitar rigurosamente a la parte cortada que se ve mirando en el sentido de la flecha.



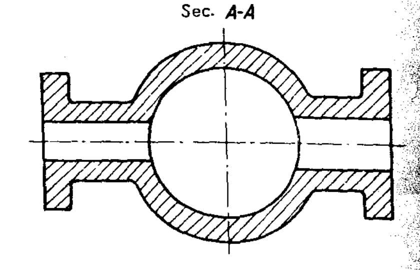


Fig. II, 61. *La sección* A-A *se ha hecho según dos planos paralelos y se ha colocado en el sitio de la planta (vista por encima), de la que tiene el mismo contorno. Aquí también se han dibujado con línea más gruesa las trazas de la intersección de los planos cortantes.*

En la figura II, 58 se indica la manera de efectuar los cortes. En la figura II, 59 se indica una manera tolerada, aunque opuesta a las reglas normales, de disponer los cortes.

Las secciones se han de indicar en los planos por: **Sección A-A, Sección B-B,** etc. Se recuerda que *todo plano de sección se ha de indicar con una línea del tipo* **F (UNI 3968),** *en cuyos dos extremos* **(más gruesos)** *lleva dos letras mayúsculas iguales.*

Tanto si la sección o corte se efectúa según planos concurrentes (fig. II, 60) o paralelos (fig. II, 61) o sucesivos (fig. II, 62), *siempre se han de señalar con*

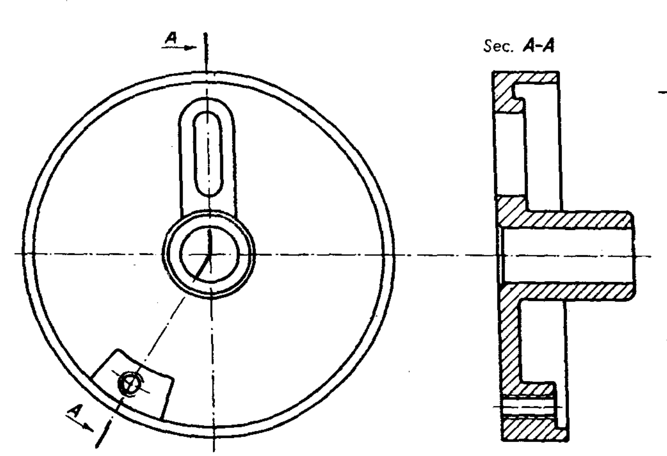


Fig. II, 60. *La sección* AA *se ha hecho según dos planos concurrentes, formando un ángulo tal que la sección resulte lo más representativa posible.* La intersección de los dos planos cortantes se **ha de** marcar con trazo más grueso.

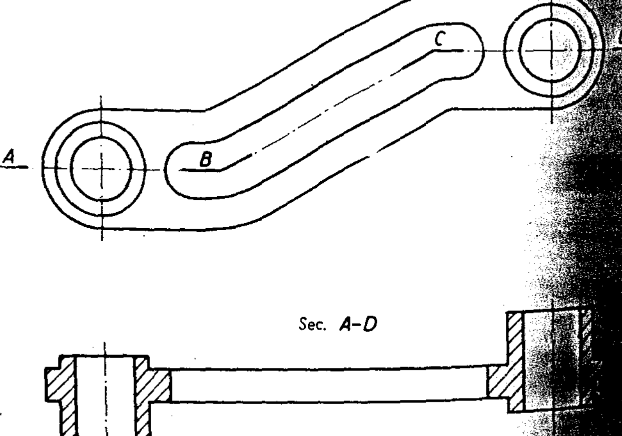


Fig. II, 62. *La sección* A-B-C-D *se ha hecho según planos sucesivos. Pero en el caso representado en la ... la distancia oblicua correspondiente a* BC *no se ha ... tado en su verdadera magnitud, sino en la de su pro... correspondiente a la planta, cuyo lugar ocupa. La ... la sección se ha señalado por una sucesión de letras ... cuales la inicial y final se indican en el título:* «Sección A-D

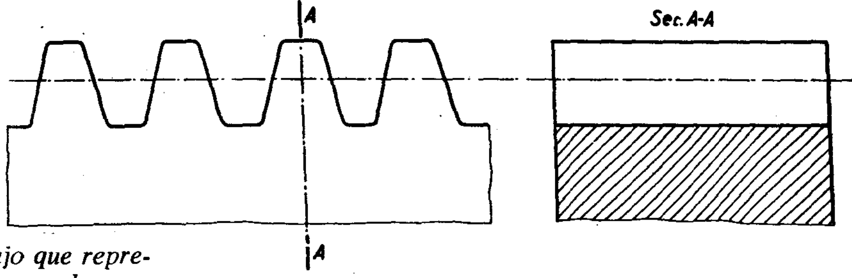


Fig. II, 65. *En las secciones, los* dientes de las ruedas dentadas, *cortados longitudinalmente, se representan sin cortar.*

líneas **más gruesas** *los trazos o intersecciones de los planos* y, cuando se crea conveniente, se señalarán con diferentes letras mayúsculas y sucesivas los puntos de intersección de los planos de las secciones (figura II, 62).

Las partes del dibujo **que** *representan las correspondientes de la pieza separadas por el plano cortante se dibujan rayadas,* según las normas que se exponen seguidamente. De esta manera, se ve a primera vista al examinar una sección qué partes han sido cortadas y qué partes, en cambio, están a la vista.

Esta regla general tiene, sin embargo, muchas excepciones, que son consecuencia de considerar que las secciones se efectúan y representan exclusivamente para facilitar la comprensión del dibujo, prescindiéndose, por lo tanto, en algunos casos de la regla general. Evidentemente estas excepciones han de limitarse a casos muy especiales. He aquí las normas más importantes:

Conviene evitar las secciones de piezas de forma muy alargada. Como norma general:

Los nervios (fig. II, 63), *los brazos de poleas* (figura II, 64), *los dientes de ruedas dentadas o cremalleras* (fig. II, 65), *los roblones* (fig. II, 66) y *los remaches, los pernos* (fig. II, 67), *los árboles* (fig. II, 68), *los pasadores* (fig. II, 69), *las arandelas y en general todos*

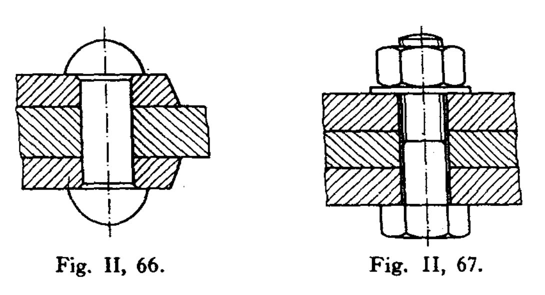


Fig. II, 66. Fig. II, 67.

Fig. II, 66. *En las secciones longitudinales los* **roblones** *se representan sin cortar.*

Fig. II, 67. *Los* **pernos** *en la sección longitudinal se representan sin cortar.*

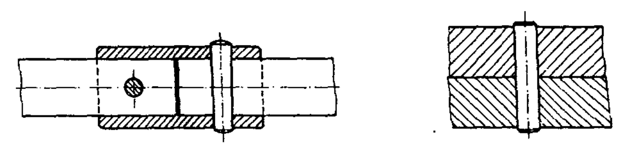


Fig. II, 68. Fig. II, 169.

Fig. II, 68. *En las secciones, los árboles y los* **pasadores,** *cortados longitudinalmente, se representan sin cortar.*

Fig. II, 69. *En las secciones, los pasadores, cortados longitudinalmente, se representan* sin cortar.

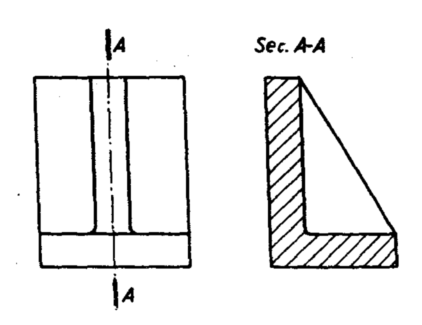


Fig. II, 63. *Los* **nervios** *en las secciones longitudinales se representan sin cortar.*

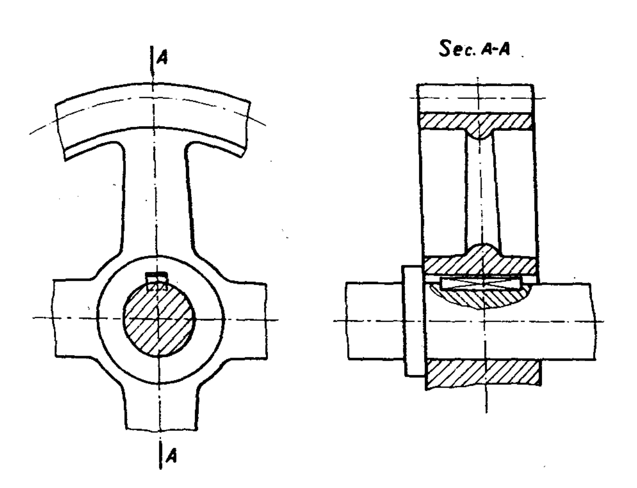


Fig. II, 64. *Los* **brazos** *en sus secciones longitudinales se representan sin cortar. Igualmente las* **chavetas** *y los* **árboles.**

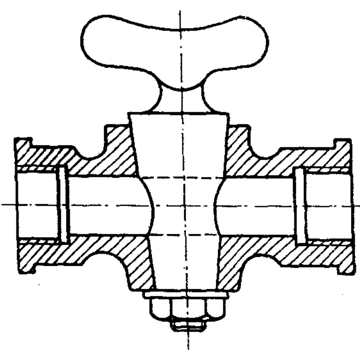


Fig. II, 70. *En las secciones longitudi… las* **piezas cónicas,** *aun presentando cavidades, si no pr…ntan interés especial para el dibujo, se representan* sin cortar.

los elementos de pequeño espesor comparado con su dimensión mayor, **cuando esta última está colocada paralelamente al plano de sección,** *se han de representar* **sin cortar,** *o sea, en vista,* **aun en la sección.**

De la misma manera, *las partes cilíndricas, cónicas o esféricas,* aun siendo huecas, *que no tengan interés especial para los fines del dibujo,* se representan **sin cortar,** tal como se ven (fig. II, 70).

Las piezas simétricas pueden representarse una mitad con la vista normal y la otra mitad en sección o corte (fig. II, 71).

En muchos casos puede resultar una representación más clara y ocupar menos espacio empleando secciones rebatidas sobre el plano del dibujo, ya sea en el lugar del corte o cerca del plano de sección. En el primer caso no serán necesarias indicaciones auxiliares (fig. II, 72), trazándose el contorno de la sección con una línea fina continua tipo *B*; en los demás casos **la sección se limitará a representar la porción cortada por el plano secante, excluyendo por tanto todas las partes que resulten vistas** (fig. II, 73).

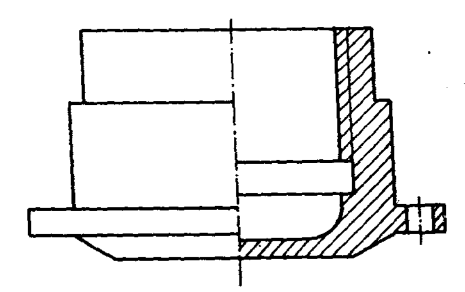


Fig. II, 71. *Una pieza simétrica puede representarse por una semivista y una* semisección.

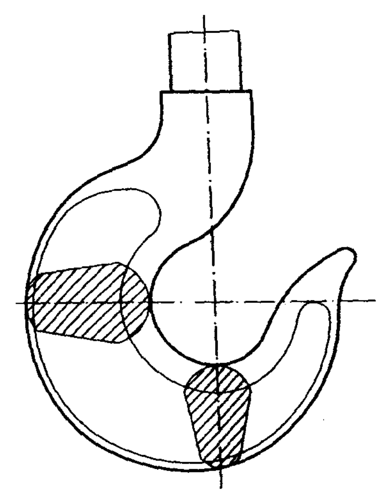


Fig. II, 72. *Una o más secciones de una pieza pueden rebatirse en el sitio del corte para obtener mayor claridad y ahorro de espacio. En este caso en las secciones se omite toda indicación; sus contornos se dibujan con un trazo fino tipo B* **UNI** 3968.

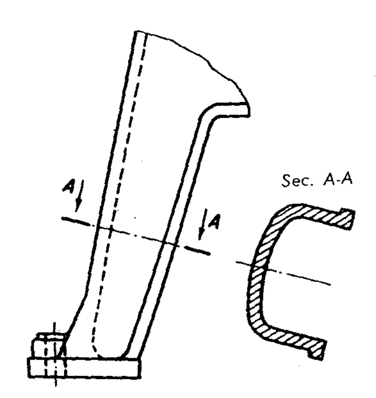


Fig. II, 73. *Una sección puede rebatirse cerca de la traza de la sección;* debe limitarse únicamente a la parte cortada por el plano *(excluyendo por lo tanto todos los elementos en vista o no seccionados).*

16. Roturas

Puede darse el caso de que la sección se limite a una parte más o menos reducida de la pieza, como indica la figura II, 74; o sea, que se imagina una rotura de la pieza para poder ver lo que interesa del interior de la misma. En tal caso se dibujará la línea de rotura, o sea, la de separación entre vista y sección, con línea continua fina irregular tipo *C* **UNI 3968** (fig. II, 75).

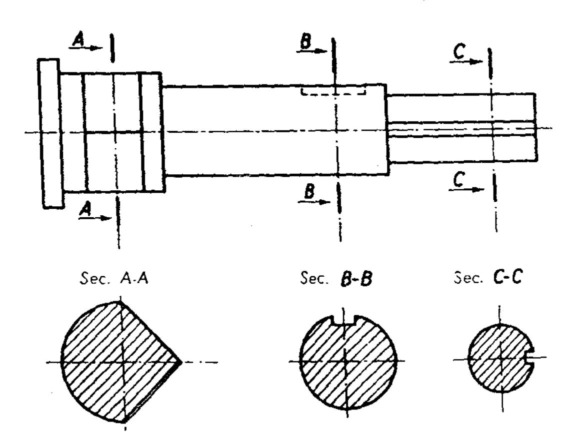


Fig. II, 74. *Cuando se necesiten varias secciones de una pieza pueden disponerse, con sus correspondientes indicaciones, como se ve en la figura.*

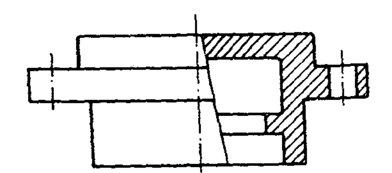


Fig. II, 75. *Una pieza puede representarse parte en vista con una línea de rotura fina irregular de tipo C* **UNI** 3968 *y parte en sección.*

Finalmente, en la tabla **UNI 3977** se consignan las normas para la representación de piezas en algunos casos particulares, normas que han de considerarse como continuación de las precedentes.

Ocurrirá tal vez que, al representar una pieza, si ésta está acoplada a otra pueda ser útil o necesario representar también las partes contiguas de esta última. Esto se hará con una línea continua fina *B* **UNI 3968.**

Un ejemplo de este caso está representado en la figura II, 76.

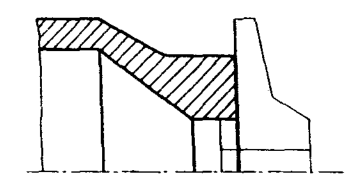


Fig. II, 76. *Cuando se hayan de representar, además de la pieza, las partes contiguas de otra pieza acoplada a la primera, estas partes se dibujarán* con línea continua fina; ***no*** *han de ocultar la pieza, ni siquiera parcialmente, pero pueden en cambio quedar cubiertas por ella. Si se quiere rayar la pieza adyacente, el rayado deberá limitarse a una faja siguiendo el interior del contorno.*

Las figuras siguientes (figs. II, 77-90) se refieren a otros casos particulares de representación. Para mayor eficacia, las explicaciones necesarias se han reunido en las leyendas correspondientes a cada figura.

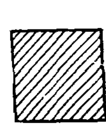


Fig. II, 79.

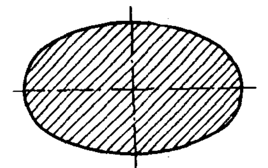


Fig. II, 80.

Figs. II, 79-80. *Los rayados de las secciones tienen generalmente una inclinación de 45° respecto al eje principal o a las líneas de contorno.*

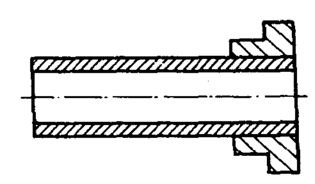


Fig. II, 81. *Para las partes contiguas pertenecientes a piezas distintas o acopladas deben usarse rayados de* distinta inclinación *o de* diferente separación. *Los rayados de las diferentes partes de una* **misma pieza** han de tener siempre la **misma inclinación**. *La separación entre las líneas del rayado ha de ser lo más ancha posible, compatible con la claridad del dibujo y escogida en relación con el tamaño de la superficie que se ha de rayar.*

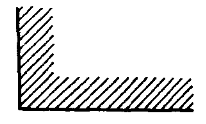


Fig. II, 82. *Para partes de mucha extensión, puede limitarse el rayado a la zona contigua a su contorno.*



Fig. II, 77. *Las secciones de espesor muy pequeño pueden ennegrecerse por completo. Se recomienda no abusar de esta concesión y* limitarla a secciones verdaderamente pequeñas, *porque las secciones en las que se abusa del ennegrecimiento tienen un aspecto fúnebre muy antiestético.*

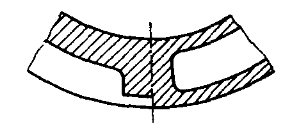


Fig. II, 83. *Cuando se obtiene una sección mediante dos o más planos paralelos, el rayado de las diferentes partes ha de tener la misma inclinación, pero se ha de evitar que los trazos coincidan.*

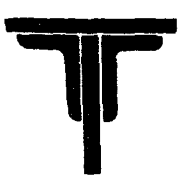


Fig. II, 78. *Cuando se recurre al ennegrecimiento de las secciones de pequeño espesor se deja un* finísimo espacio blanco *para separar entre sí los diferentes elementos adyacentes de la pieza seccionada.*

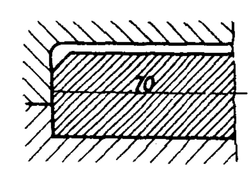


Fig. II, 84. *Cuando en el interior de una sección se hayan de poner inscripciones o cotas, u otras indicaciones, deberá interrumpirse el rayado donde corresponda.*

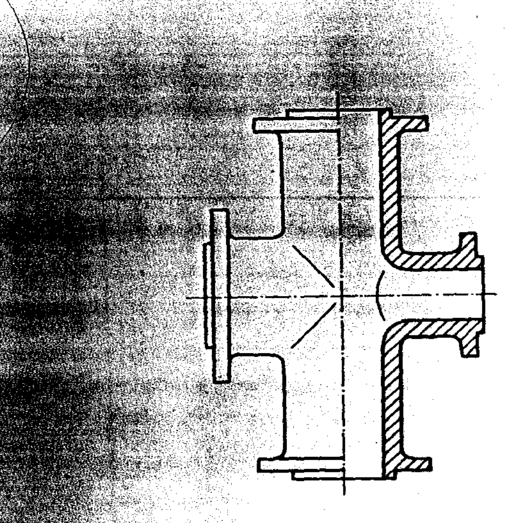


Fig. II, 85. Las intersecciones de superficies empalmadas pueden representarse con una línea continua fina, *tipo B* **UNI** 3968. *Esta norma constituye una innovación muy importante con respecto a las normas usadas anteriormente.*

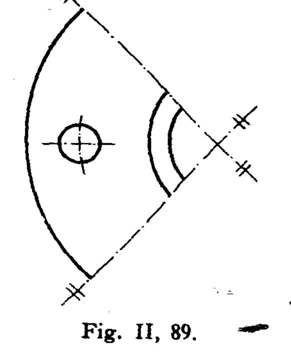


Fig. II, 89.

Figs. II, 88-89. *Para ahorrar tiempo y espacio*, el dibujo de una pieza simétrica puede limitarse **a la mitad o a la cuarta parte** de la vista completa. El eje o los ejes de simetría han de señalarse individualmente en ambos extremos *con* **dos tracitos paralelos y perpendiculares** al eje respectivo.

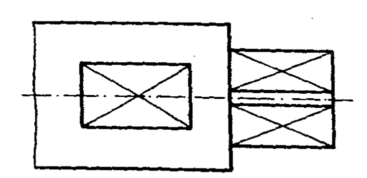


Fig. II, 86. *Las superficies planas en vista, mirando las caras de un cuadrado, de una pirámide o de un plano efectuado en un cuerpo cilíndrico pueden indicarse con dos líneas diagonales trazadas con línea continua fina B* **UNI** 3968.

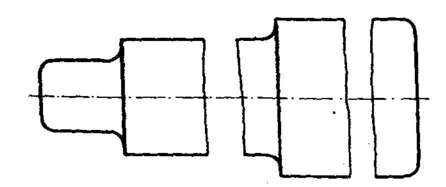


Fig. II, 90. *Cuando para ahorrar tiempo y espacio, se quiere limitar la representación de una pieza a las partes que bastan para definirla, las líneas de rotura son del tipo continuo fino irregular* (**C UNI** 3968).

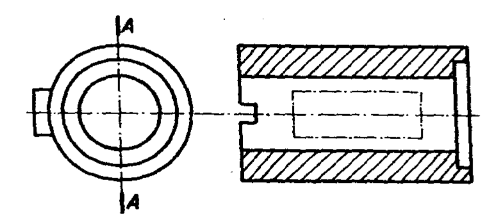


Fig. II, 87. *Si en una sección se quiere representar una parte situada delante del plano de sección, se ha de usar la línea mixta fina tipo* **E UNI** 3968.

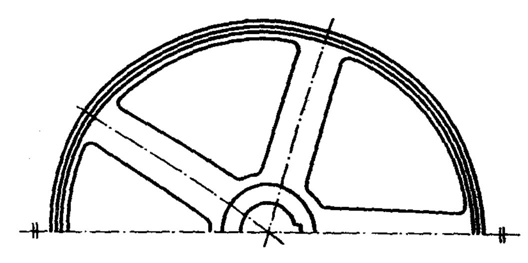


Fig. II, 88.

17. Indicaciones convencionales de los materiales en las secciones

Las normas antiguas sobre este asunto, expuestas en la tabla **UNIM 19,** han sido sustituidas recientemente por la tabla **UNI 3972,** a la que nos referiremos exclusivamente en este texto. Estas últimas normas, que han eliminado los desacuerdos entre la unificación italiana y las internacionales, han impuesto cambios tan esenciales, que el querer conservar las normas antiguas podría ser causa de graves errores.

Cuanto de dicha tabla interesa especialmente al delineante, se detalla en la siguiente tabla 4.

Como ya se ha dicho en otras ocasiones, todas las superficies que en el dibujo representan secciones se han de rellenar por medio del rayado. Una vez fijados convenientemente los diversos tipos de rayado, según el material cortado, es evidente que el rayado puede dar una sucinta indicación del material de que está formada la pieza cortada.

Cuando sea conveniente un detalle completo de los varios materiales de una pieza, se tiene que especificar en el dibujo con toda exactitud. Si se desea únicamente una especificación más o menos superficial, se recurre a la diferenciación del rayado.

Tabla 4

Clase de materiales	Rayados para clases en dibujos de taller y generales	Rayados y colores para cada especie de material en dibujo de conjunto — Rayados	Colores	Especie de material
Metales			gris oscuro	Fundición
			violeta	Acero, acero fundido
			amarillo	Cobre y sus aleaciones (bronce, latón)
			verde claro	Plomo, cinc, estaño, metal blanco, etc.
			verde oscuro	Metales ligeros y sus aleaciones
Materiales para juntas			castaño oscuro	Goma, fibra, amianto, corcho, mica, papel
				Ebonita
				Cuero
				Parafina, cera, litargirio
Materiales plásticos			paja	Resinas tipo baquelita
			verde	Celuloide, celofán, vidrios orgánicos
			castaño	Resinas artificiales especiales
Materiales aislantes			azul verdoso	Vidrio
			castaño	Porcelana, cerámica
			gris	Amianto, magnesia
			verde oliva	Ladrillos y materiales refractarios
Devanados eléctricos			rojo	Bobinas y resistencias eléctricas
Maderas			castaño claro	Madera (corte longitudinal)
				Madera (corte transversal)
Líquidos			azul claro	Líquidos

Resumiendo, se pueden pues dar tres casos:

a) *El dibujo está ya provisto de todas las indicaciones suficientes para designar con precisión cada clase de material. En este caso se usa un tipo único de rayado inclinado de línea continua fina* (tipo *B* **UNI 3968).**

Esto es obligatorio en todos los *dibujos de taller y generales.*

b) *En las secciones se quiere indicar sucintamente con el rayado la naturaleza de los materiales* (materiales metálicos, para juntas, plásticos, aislantes, etc.). En este caso se usarán *los diferentes rayados* (7 tipos distintos) indicados en **la 2.ª** columna de la tabla.

c) *En las secciones se quiere indicar con el rayado,* siempre de modo sucinto, pero más preciso, *la clase del material cortado,* según las indicaciones de la columna **5.ª** de la tabla. En este caso se usan los rayados indicados en la columna **3.ª**, o bien se recurre a colorear las partes cortadas, según los colores indicados en la **4.ª** columna. Téngase presente que en la citada tabla **UNI 3972,** además de indicar el nombre del color, se reproduce también el color correspondiente a cada indicación. Por esto, cuando se quiera recurrir a la coloración de las secciones se aconseja consultar directamente la citada tabla.

Finalmente, en dicha tabla se hallan algunas normas para casos particulares, que se han transcrito en las leyendas de las figuras precedentes.

Entre ellas revisten particular importancia las relativas a la inclinación del rayado respecto a los ejes (figs. II, 79-80), sobre el ennegrecimiento de las pequeñas secciones (fig. II, 77), sobre la disposición del rayado de las partes contiguas (fig. II, 81) y en las secciones obtenidas con diferentes planos cortantes (fig. II, 83), sobre la interrupción del rayado en torno a las anotaciones, cotas y demás, puestas en las secciones (fig. II, 84), etc.

Capítulo IV

ACOTADO DE LOS DIBUJOS

18. Escala de representación

En el dibujo técnico, las piezas representadas mediante las proyecciones ortogonales no se pueden reproducir siempre en tamaño natural. Debe pues indicarse siempre con claridad la **escala de representación,** es decir, la *relación entre las dimensiones de la pieza en el dibujo y las dimensiones reales de la pieza.* Así, por ejemplo, si una arista de la pieza de 500 mm de longitud mide en el dibujo 200 mm, la escala de representación es de 200 : 500 = 1 : 2,5.

Cuando la representación tiene *dimensiones* mayores que la pieza, se dice que se ha usado una **escala de ampliación;** si la representación tiene *las mismas* dimensiones que la pieza, la escala es **al natural;** finalmente, si la representación tiene *menores* dimensiones que la pieza, se dice que la escala es **de reducción.**

La reciente tabla **UNI 3967** indica las escalas admitidas para los dibujos técnicos. En ella se indican **5** escalas de ampliación desde 50:1 hasta 2:1; la escala al natural 1 : 1; y **25** escalas de reducción de 1 : 2 a 1 : 10 000 000. En la pequeña tabla que sigue se indican las escalas de empleo más corriente en el dibujo mecánico, que no se separan mucho de la escala al natural (tabla 5).

La escala 1 : 2, *no es aconsejable,* a pesar de estar admitida, porque causa fácilmente errores de interpretación de las dimensiones; por esto se ha excluido de la tabla anterior.

Tabla 5

Escala			
de ampliación	**50 : 1** **20 : 1** **10 : 1** **5 : 1** **2 : 1**	de reducción	**1 : 2,5** **1 : 5** **1 : 10** **1 : 20** **1 : 25**
al natural	**1 : 1**		**1 : 50**

La indicación de la escala se ha de consignar en todo dibujo en el cajetín de la rotulación.

En la **figura II, 91** se representa una de las vistas de una pieza en 5 escalas diferentes, con el empleo de las líneas adecuadas, con el fin de evidenciar claramente los diferentes aspectos de un dibujo, según la escala adoptada.

Puede ser necesario el empleo de más de una escala para la ejecución de un dibujo cuando se haya de dibujar, por ejemplo, algunos detalles a escala distinta de la principal general. En este caso, las indicaciones de las *varias escalas empleadas para los detalles deben consignarse junto a los dibujos respectivos;* la escala principal general debe, como siempre, indicarse en el cajetín de la rotulación, donde en caracteres más pequeños, pueden añadirse las [illegible] detalles.

En la **figura II, 92** se indican las graduaciones de algunas reglas especiales, de muy cómodo empleo en la ejecución de dibujos a diferentes escalas. Las [illegible]didas transportadas utilizando dichas escalas, es [illegible] leyendo sobre dichas graduaciones las dimensiones reales, resultan ya transportadas a la escala [illegible]. Así, por ejemplo, leyendo 1 cm en la escala [illegible] se lee una longitud de 2 cm para la magnitud [illegible]pondiente a 1 cm representado en la escala 2[illegible].

Tales graduaciones se encuentran frecuentemente reunidas de 6 en 6 sobre reglas en forma de [illegible] triangular (fig. II, 93), llamadas **escalímetros.**

En el caso de que un dibujo, por cualquier [illegible] no esté dibujado a escala, en el cajetín de la [illegible]ción se escribirá *sin escala.*

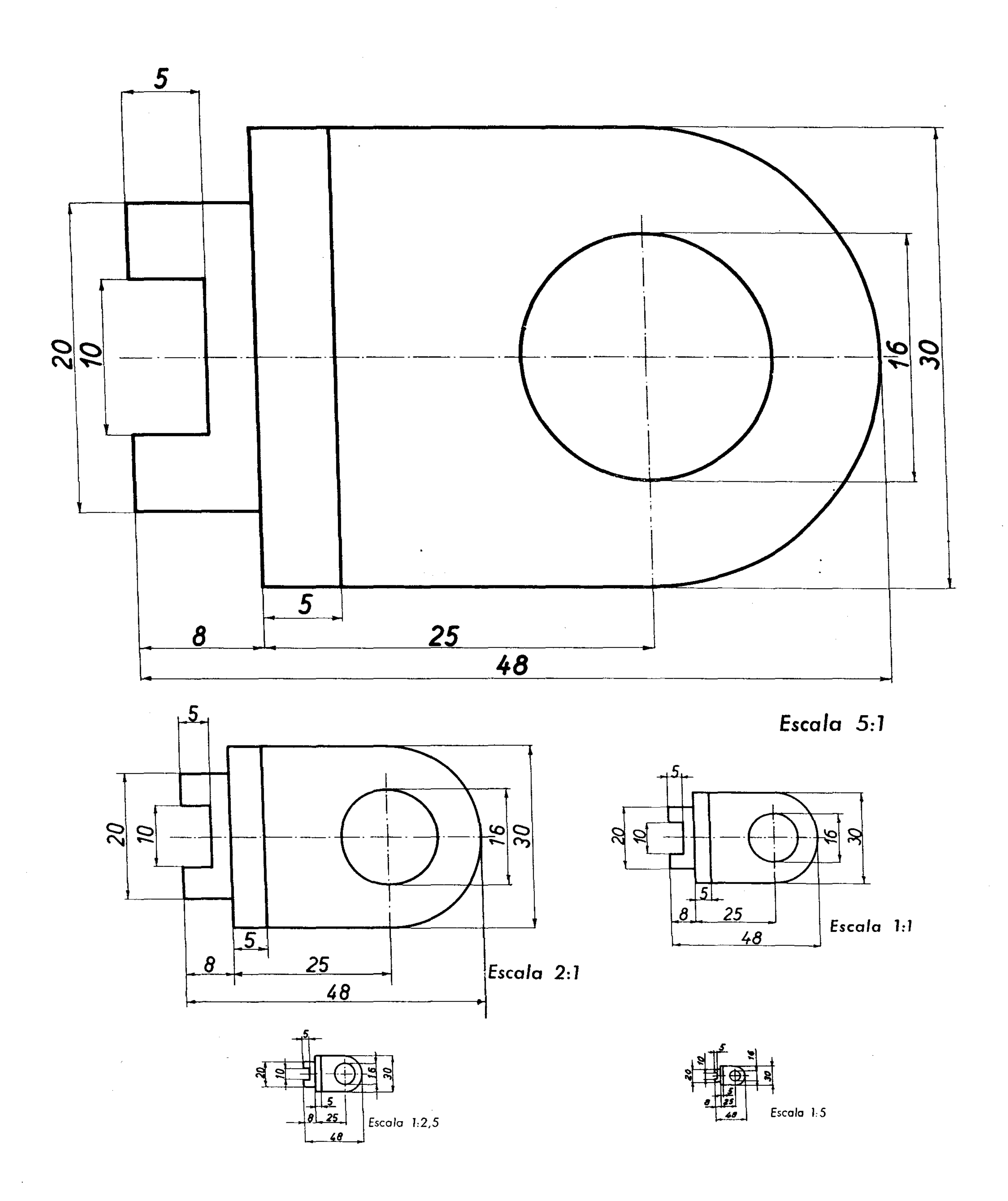
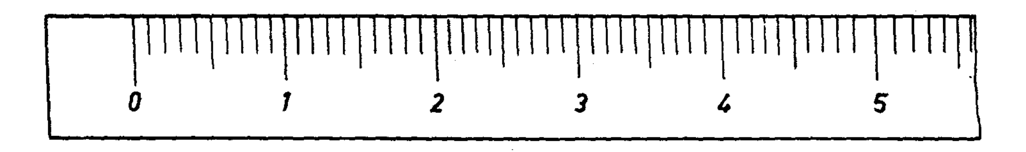


Fig. II, 91. *Aquí se ve una de las vistas de la misma pieza, en cinco escalas diferentes.*

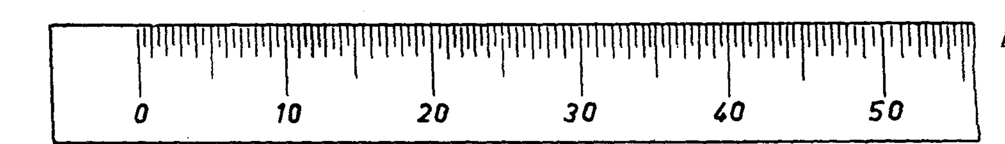


Fig. II, 92. *Graduaciones de las reglas para las varias escalas respectivamente indicadas.*









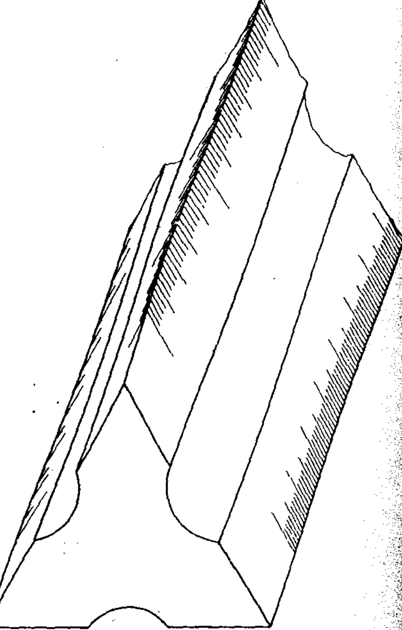


Fig. II, 93. *Parte de un escalímetro*

19. Serie de números normales - Dimensiones de las piezas

En todas las aplicaciones, y especialmente en las dimensiones de los órganos mecánicos, si no se adoptan las normas convenientes, se llega inevitablemente, para cada tipo de objeto o de órgano, a exigir piezas semejantes de dimensiones muy parecidas. A tal resultado se llega, por ejemplo, cada vez que la medida de un órgano es el resultado del cálculo de resistencia; y es de toda evidencia el gran número de inconvenientes que origina un hecho de esta naturaleza. Por ejemplo, si en el cálculo del diámetro de pequeños árboles resultasen diámetros de 19,1 mm; 19,3 mm; 19,4 mm, etcétera, se tendrían que efectuar una serie de trabajos de torno o de rectificado partiendo de un diámetro mayor o disponer de calibrados de toda la serie de diámetros indicados. Para evitarlo, se ha creído conveniente establecer unas *series de dimensiones dispuestas en sucesión racional*, de modo que, fuera de casos excepcionales, sea posible adoptar como dimensión de una pieza, una de las comprendidas en la serie.

Estas series de dimensiones se han establecido partiendo de las series *geométricas de* **números normales de Renard,** caracterizadas por el hecho de que *cada término guarda una relación constante con el precedente.*

En la serie **Ra 5,** el intervalo entre 1 y 10 (o bien los intervalos obtenidos multiplicando o dividiendo los extremos del intervalo por 10 o por una potencia de 10) está dividido en 5 partes, intercalando entre los valores extremos 4 valores intermedios; la relación constante entre cada valor y el precedente es en este caso $\sqrt[5]{10} = 1{,}585$.

En la serie **Ra 10,** el mismo intervalo está dividido en 10 partes y la relación entre dos valores contiguos es $\sqrt[10]{10} = 1{,}259$. Hay además las series **Ra 20, Ra 40, Ra 80.** Para las dimensiones de las piezas son suficientes generalmente las series **Ra 5, Ra 10, Ra 20.**

Naturalmente, que los valores de los términos de las series se han redondeado convenientemente, están expuestos en la tabla **UNI 2017**, de la que se da un extracto (tabla 6).

Serie de números normales, utilizables para las medidas lineales de órganos mecánicos

Valores fundamentales Serie Ra 5	Serie Ra 10	Serie Ra 20	Valores complementarios (próximos a la serie R 40)
0,1	0,1	0,1	
		0,11	
	0,12	0,12	0,13
		0,14	0,15
0,16	0,16	0,16	0,17
		0,18	0,19
	0,2	0,2	0,21
		0,22	0,24
0,25	0,25	0,25	0,26
		0,28	
	0,3	0,3	0,32
		0,35	0,38
0,4	0,4	0,4	0,42
		0,45	0,48
	0,5	0,5	0,52
		0,55	0,58
0,6	0,6	0,6	0,65
		0,7	0,75
	0,8	0,8	0,85
		0,9	0,95
1	1	1	
		1,1	
	1,2	1,2	1,3
		1,4	1,5
1,6	1,6	1,6	1,7
		1,8	1,9
	2	2	2,1
		2,2	2,4
2,5	2,5	2,5	2,6
		2,8	
	3	3	3,2
		3,5	3,8
4	4	4	4,2
		4,5	4,8
	5	5	5,2
		5,5	5,8
6	6	6	6,5
		7	7,5
	8	8	8,5
		9	9,5
10	10	10	

Valores fundamentales Serie Ra 5	Serie Ra 10	Serie Ra 20	Valores complementarios (próximos a la serie R 40)
10	10	10	
		11	
	12	12	13
		14	15
16	16	16	17
		18	19
	20	20	21
		22	24
25	25	25	26
		28	30
	32	32	34
		36	38
40	40	40	42
		45	48
	50	50	52
		56	60
63	63	63	68
		70	75
	80	80	85
		90	95
100	100	100	105
		110	120
	125	125	130
		140	150
160	160	160	170
		180	190
	200	200	210
		220	240
250	250	250	260
		280	300
	315	315	340
		355	380
400	400	400	420
		450	480
	500	500	530
		560	600
630	630	630	670
		710	750
	800	800	850
		900	950
1000	1000	1000	

Los valores de las series indicadas corresponden aproximadamente a los términos de las series geométricas cuyas razones son respectivamente 1,60 para la serie Ra 5; 1,25 para la serie Ra 10; 1,12 para la serie Ra 20. Los valores complementarios no están en progresión geométrica y sólo pueden usarse para dimensiones en casos de absoluta necesidad. En la tabla UNI 2016 están también indicadas las diferencias en % entre los valores de las series R 5 R 10 R 20 y los valores exactos calculados según la progresión geométrica: la diferencia máxima se eleva al 1,26 %.

20. Acotaciones de los dibujos

Se ha dicho en los párrafos anteriores que los dibujos generalmente se hacen a escala; pero de este hecho no se ha de deducir la posibilidad de tomar directamente del dibujo las medidas que han de tener las distintas partes de la pieza. *Todo dibujo técnico ha de ser completo y ha de contener las indicaciones de todas las medidas necesarias para la construcción o la recepción de la pieza.* Estas indicaciones las proporciona la **acotación** del dibujo.

Para que la lectura de las cotas se pueda hacer con facilidad y sin ninguna duda, es necesario indicar las acotaciones siguiendo exactamente toda una serie de normas establecidas en las tablas **UNI 3973, 3974** y **3975,** nueve en total. Estas tablas contienen las normas sobre acotación de los dibujos en proyección ortogonal. Para la acotación en axonometría no existen hasta ahora normas unificadas.

En las leyendas de las figuras que siguen se han transcrito todas las normas de acotación (figs. II, 94-111).

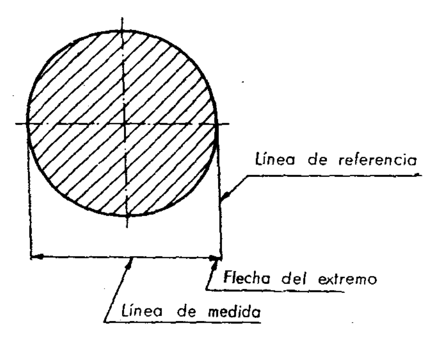


Fig. II. 94. *Todas las cosas se escriben sobre una* **línea de medida** *que por lo regular se apoya con las dos flechas de sus extremos en las* **líneas de referencia.** *Las líneas de medida y las líneas de referencia se trazan con línea continua fina, tipo B* **UNI** 3968. Las líneas de referencia **han de alargarse un poco** *sobrepasando las puntas de las flechas de* las líneas de medida.

Fig. II, 95. *La forma unificada de las flechas es la indicada en la figura.*

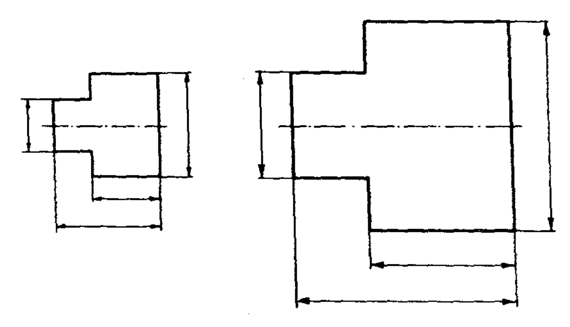


Fig. II, 96. *El tamaño de las flechas ha de ser proporcionado a la anchura de las líneas del dibujo.*

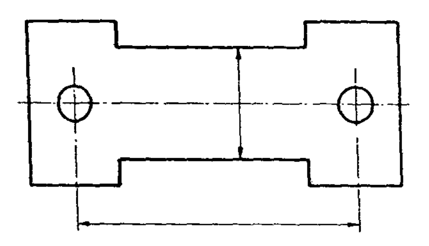


Fig. II, 97. Los ejes de simetría y las líneas de contorno **no se pueden utilizar como líneas de medida en caso alguno;** pero pueden servir de líneas de referencia.

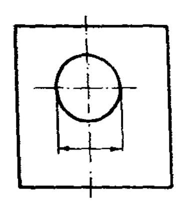


Fig. II, 98. Las líneas **de** referencia y de medida no han de cruzarse, en lo **posible,** con otras líneas del dibujo. *Por esto la disposición* **indicada** *en esta figura* no se puede considerar como recomendable.

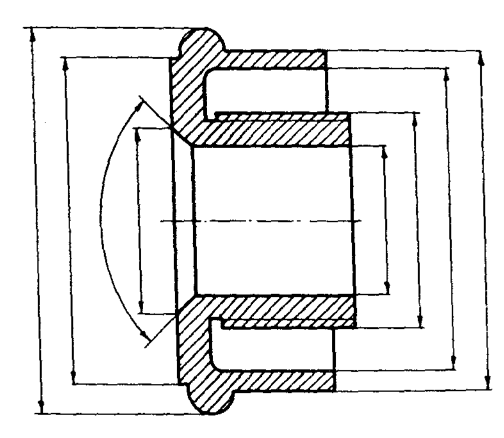


Fig. II, 99. *Las líneas de medida paralelas* deben disponerse equidistantes entre sí y de las líneas de contorno de las piezas. *Las cotas menores han de colocarse* **más cerca** *de la pieza y las mayores progresivamente más alejadas, a fin de evitar que se crucen* **las** *líneas de medida con las de referencia.*

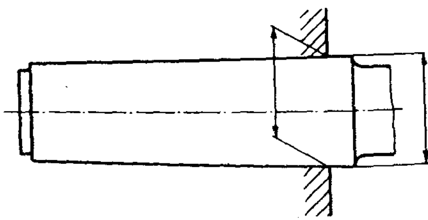


Fig. II, 100. *Las líneas* **de** *medida se han de trazar siempre paralelas a la dirección que se trata de medir; como norma general han de ser* perpendiculares *a las respectivas líneas de referencia; sólo* en **algún** caso excepcional *se puede recurrir a líneas de referencia auxiliares inclinadas, como se ve en esta figura.*

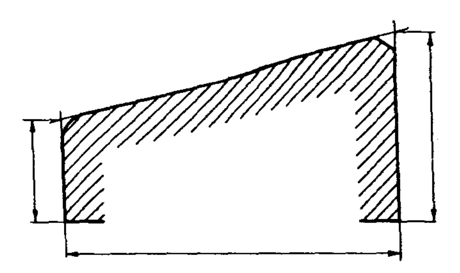


Fig. II, 101. *Cuando dos líneas del contorno sean* concurrentes *deberán prolongarse un poco más allá de su punto de intersección.*

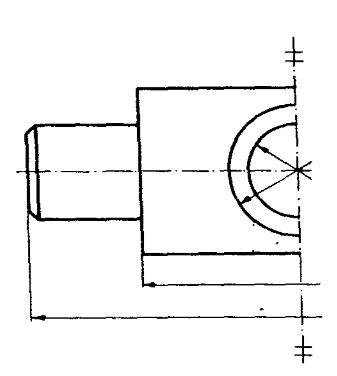


Fig. II. 102. *En las acotaciones de vistas o secciones dibujadas* sólo hasta un eje de simetría, *las líneas de medida sólo se han de alargar un poco después del eje de simetría; por lo tanto* no se han de dibujar completas *ni ponerles la segunda flecha terminal.*

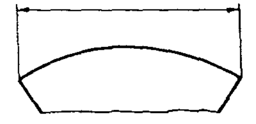


Fig. II, 105.

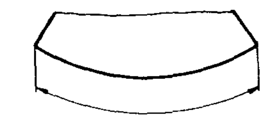
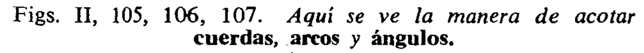


Fig. II, 106.



Fig. II, 107.

Figs. II, 105, 106, 107. *Aquí se ve la manera de acotar* **cuerdas, arcos** *y* **ángulos.**



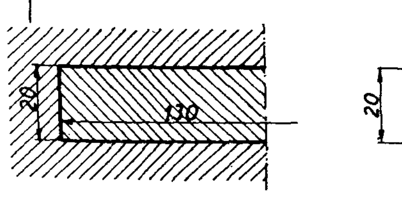


Fig. II, 108. *Tanto las líneas de medida, como las flechas de los extremos han de estar siempre fuera de las zonas cortadas.*

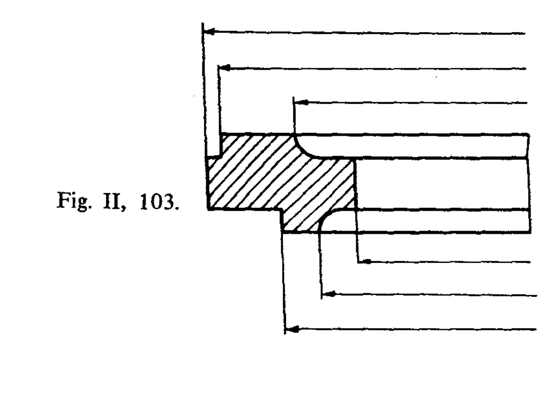


Fig. II, 103.

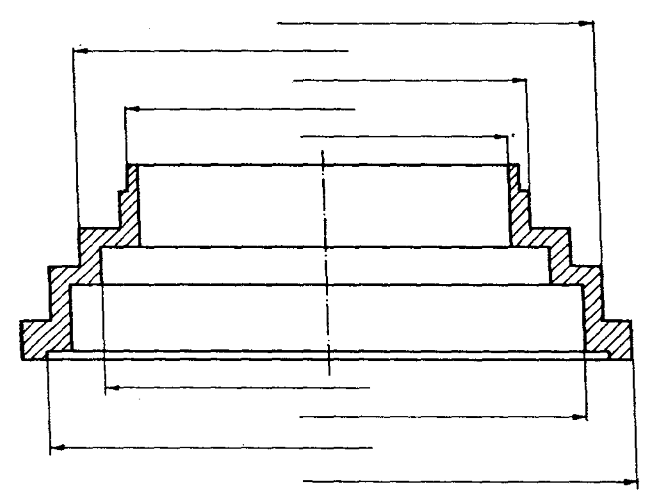


Fig. II, 104.

Figs. II, 103-104. *En piezas de gran tamaño y simétricas respecto a una perpendicular a las líneas de medida, se acepta que se dispongan estas líneas de medida tal como indica la* fig. II, 103; *y en el caso de ser muy numerosas, pueden también dibujarse incompletas y dispuestas alternadas, como se ve en la* fig. 104.

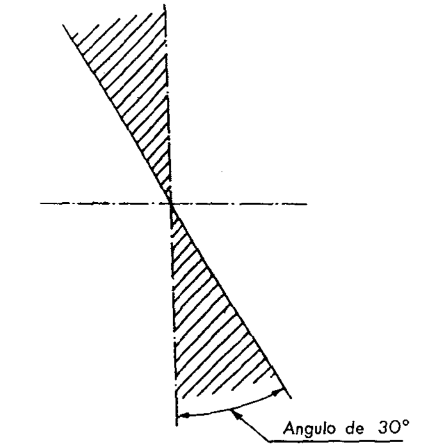


Fig. II, 109. *Evítese en lo posible disponer las líneas de medida en una zona comprendida entre la vertical y una recta que forme con la misma un ángulo de unos 30°, como indica la figura.*

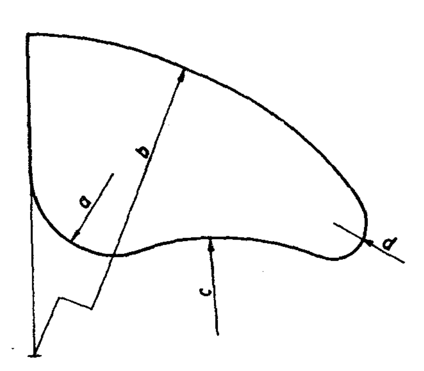


Fig. II, 110. *Las líneas de medida de los radios de arcos tienen dirección radial y llevan una sola flecha terminal* (a), *que se apoya en el arco; cuando el centro del arco cae fuera de los límites de la representación y la línea de medida ha de indicar la posición del centro, puede ser quebrada* (b); *si no ha de indicar la posición del centro puede ser interrumpida* (c); *cuando hay escasez de sitio, se coloca la cifra fuera* (d).

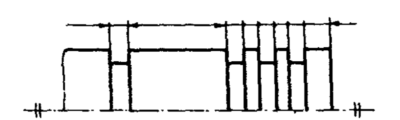


Fig. II, 111. *Por lo regular, las flechas de los extremos se colocan entre las líneas de referencia; sólo cuando el espacio sea insuficiente, se colocan en el exterior. Cuando varias flechas terminales hayan de ser contiguas, pueden substituirse por puntos bien marcados.*

21. Sistemas de acotación

Las reglas generales de acotación que se han de observar son las siguientes:

a) *Han de consignarse directamente todas las dimensiones necesarias para la determinación completa del objeto para su fabricación, su definición funcional y su verificación,* **evitando tener que obtenerlas por suma o sustracción.**

b) *Cada dimensión se ha de consignar* **una sola vez y en una sola proyección.**

c) Las cotas se han de colocar en la proyección en la que el elemento representado resulte más evidente, para fines constructivos y funcionales.

Es evidente que no se puede dar un criterio general para fijar las cotas que se deberán escoger para determinar completamente las dimensiones de la pieza representada en un dibujo; las escogidas satisfaciendo las normas generales pueden, evidentemente, ser diferentes y dependen de varias consideraciones. *De las diferentes selecciones de costas que pueden efectuarse, derivan precisamente los diferentes sistemas de acotación.*

La selección de las dimensiones que se han de consignar en un dibujo, depende esencialmente del uso que deba hacerse del mismo; pueden en efecto referirse a la función que la pieza haya de cumplir, o bien a su proceso de fabricación, o aun al control de la misma.

Los sistemas de acotación usados en el dibujo mecánico pueden sustancialmente reducirse a cinco **(UNI 3974):**

a) **Acotación en serie** *(o en cadena). Cada elemento está acotado con respecto al elemento contiguo,* como aparece en las figuras II, 112-113.

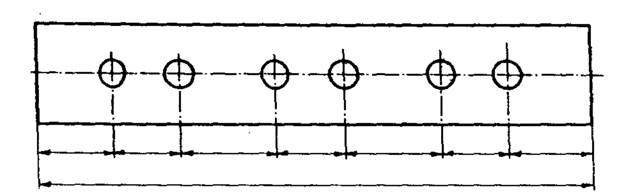
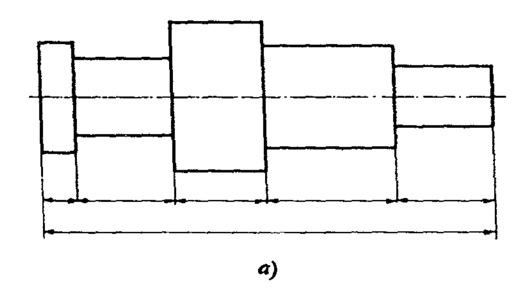


Fig. II, 112. *Sistema de acotación en serie.*



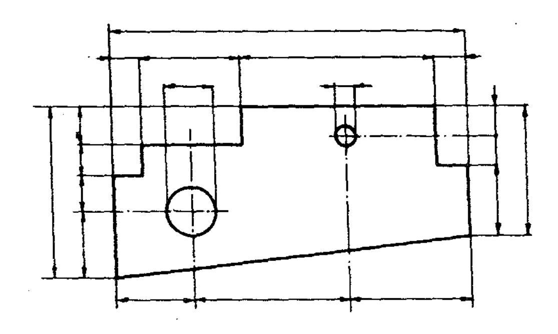


Fig. II, 113. *Aquí se presentan dos ejemplos de acotación en serie.*

Es evidente que este sistema de acotado se ha de usar *en el caso de que las distancias entre elementos contiguos tengan importancia predominante* y por tanto *no haya elementos* que, por su función o por su importancia constructiva o de control, *tengan que tomarse como elementos de referencia.*

Es también evidente que, con este sistema, *los errores constructivos se suman y por consiguiente se acumulan.*

b) **Acotación en paralelo.** *Todas las cotas de la misma dirección tienen el mismo origen de referencia* (figs. II, 114-115).

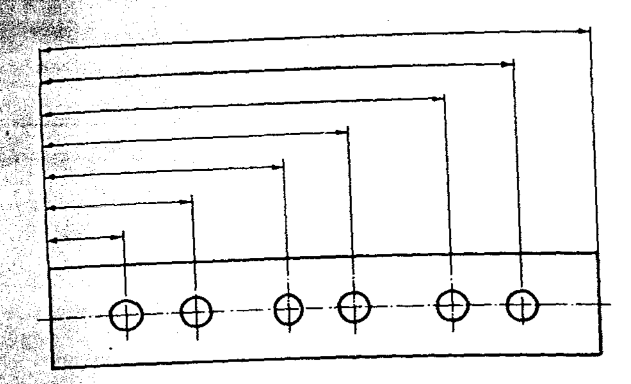


Fig. II, 114. *Sistema de acotación en paralelo: todas las cotas tienen un solo origen de referencia.*

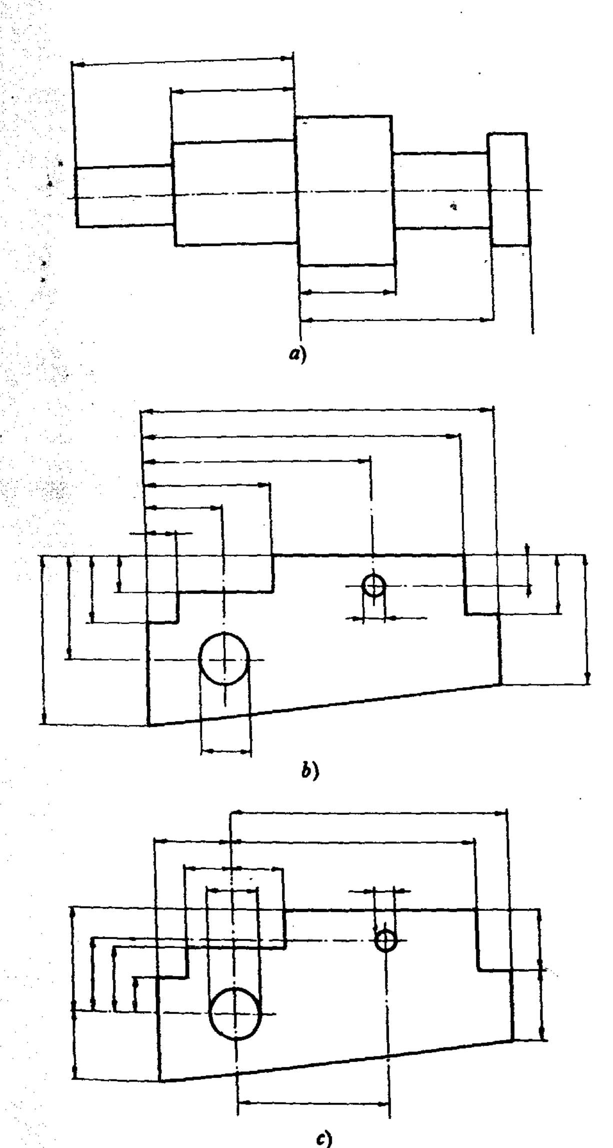


Fig. II, 115. *Tres ejemplos de acotación en paralelo. En los dos primeros se toman como elementos de referencia para todas las cotas uno o dos planos que, en este caso, se consideran de importancia fundamental: en el tercer ejemplo las cotas se refieren al eje del agujero.*

Es evidente que se ha de usar este sistema *cuando haya un elemento que, por su importancia constructiva o de trazado, pueda tomarse como referencia para todos los demás.*

Con este sistema *no se acumulan los errores constructivos, por ser cada cota independiente de las otras.* Está especialmente indicado cuando el trazado, la ejecución o el control de las piezas representadas en el dibujo se efectúan con máquinas o instrumentos de traslación progresiva.

Es evidente que puede darse el caso de que, además de la referencia principal (por ejemplo, para el exterior de la pieza), convenga escoger otra referencia (por ejemplo, para el interior): es natural que la posición de la segunda referencia deberá quedar bien determinada respecto a la primera.

c) **Acotación progresiva.** *Se fija un origen de cota* **0** (cero) *correspondiente al elemento de referencia;* las diferentes cotas se disponen sobre una línea única de medida. Se trata sólo evidentemente de una variación gráfica del método paralelo.

El elemento de referencia puede estar situado en un extremo de la pieza o en medio. En ambos casos, se han de dibujar todas las flechas alejándose del origen, como se ve en la figura II, 116. Pueden sustituirse las flechas por puntos (fig. II, 117). *El origen ha de indicarse siempre exclusivamente mediante un punto.*

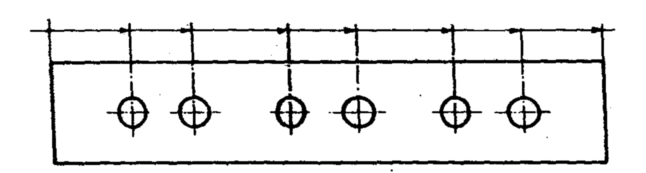


Fig. II, 116. *Acotación progresiva. Se trata sólo de una variación gráfica del sistema de acotación en paralelo. Para evitar confusiones con el sistema en serie, las cotas han de estar puestas* encima de las correspondientes líneas de referencia y escritas perpendiculares a la línea de medida.

Para evitar confusiones con el sistema en serie o errores de interpretación, *las cotas de referencia en el sistema progresivo han de ponerse encima de las correspondientes líneas de referencia y escribirse en sentido perpendicular a la línea de medida.*

Las otras cotas aisladas de la pieza se colocan en la forma normal.

Las ventajas que ofrece este sistema son las mismas del sistema en paralelo del que se deriva; pero es de ejecución y lectura más fácil.

d) **Acotación combinada.** Combinando los sistemas precedentes, tenemos la *acotación combinada,* que permite satisfacer todas las exigencias constructivas (fig. II; 118).

e) **Acotación según coordenadas.** En algún caso puede ser útil *reunir las cotas en una hoja aparte, en vez de consignarlas en el dibujo.* La figura II, 119

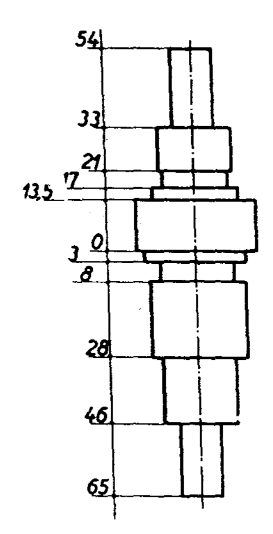


Fig. II, 117. *Ejemplo de acotación progresiva: se han puesto puntos en lugar de flechas.*

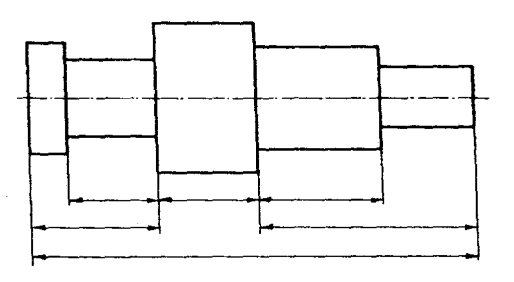
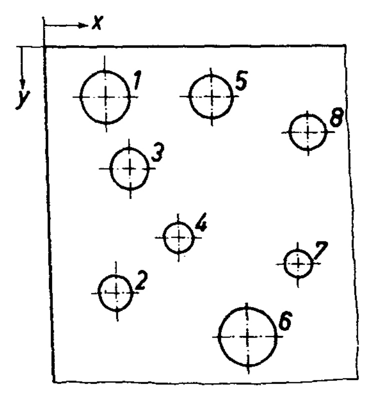


Fig. II, 118. *Ejemplo de acotación combinada, parte en serie y parte en paralelo.*

presenta un ejemplo de este sistema que, normalmente, es de muy rara aplicación, pero que puede ser de mucha importancia para piezas fabricadas mediante máquinas que trabajen por el método de las coordenadas (máquinas de mandrilar, algunos tipos de fresadoras, etcétera).

Fig. II, 119. *La figura reproduce un ejemplo de acotación por coordenadas, método que puede ser precioso en el caso de piezas para cuya fabricación se empleen máquinas que trabajan según coordenadas cartesianas, como por ejemplo, las mandriladoras, algunas fresadoras modernas para matrices, etcétera.*



	1	2	3	4	5	6	7	8
x	16	18	23	36	41	54	68	72
y	14	66	33	56	13	78	59	23
∅	14	9	10,5	8	11	16	7	9

22. Normas especiales de acotación

En las figuras II, 120-123 se indican las acotaciones correctas en algunos ejemplos particulares.

Téngase presente que, cuando en un dibujo se hayan de trazar *líneas para precisar el trabajo,* éstas (exceptuadas las que indican el estado de las superfi-

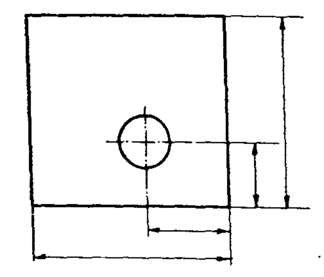


Fig. II, 120. *Ejemplo de acotación de un agujero cuando su posición está estrechamente relacionada con dos planos de referencia.*

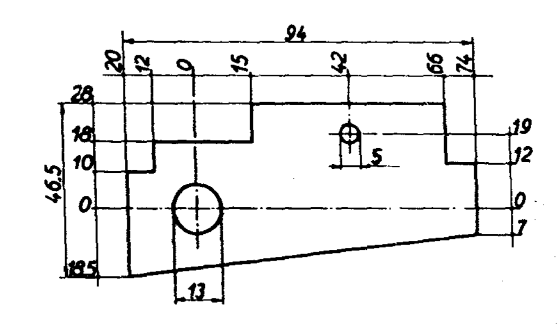


Fig. II, 121. *Ejemplo de acotación progresiva, siendo el elemento de referencia el agujero de diámetro mayor.*

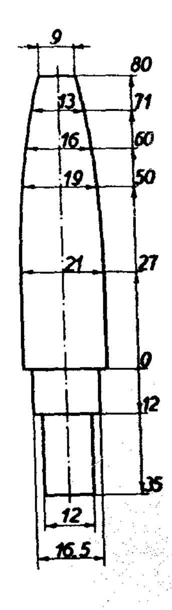


Fig. II, 122. *Ejemplo de acotación progresiva, en la que se toma como elemento de referencia un tope de la pieza.*

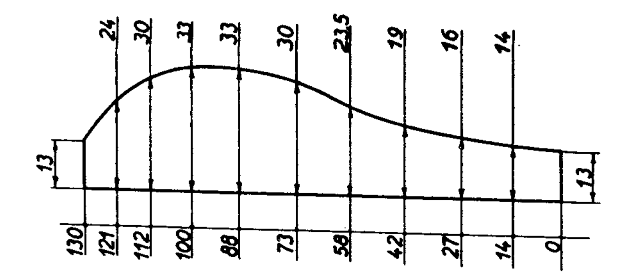


Fig. II, 123. *Ejemplo de acotación correcta de una plantilla.*

cies, de que se tratará en el n.° 25), deberán satisfacer las reglas siguientes:

a) *si terminan en el interior del contorno, su extremo será un punto* (fig. **II**, 124);

b) *si terminan en el mismo contorno, deberán terminar con una flecha* (fig. **II**, 124).

Sobre las cotas y su colocación se han publicado recientemente las tablas **UNI 3974,** que indican los sistemas de acotación y dan todas las normas que deberán seguirse en la colocación de las líneas de medida, y la tabla **UNI 3975,** que indica todas las normas que deberán seguirse cuando se trate de la colocación de las cotas.

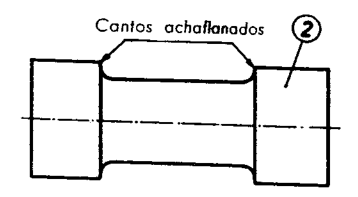


Fig. II, 124. *Cuando en un dibujo haya líneas para precisar el trabajo, si terminan dentro del contorno deben tener por extremo un punto; si terminan en el mismo contorno, su extremo será una flecha.*

Las cotas se han de escribir *con caracteres bien visibles, en sentido paralelo a las correspondientes líneas de medida* (fig. II, 125), *encima de las mismas, con una ligera separación,* y en cuanto sea posible *hacia su mitad; las cifras que componen una cota no deben nunca estar atravesadas o separadas por ninguna línea del dibujo.*

En las figuras **II**, 126-149 se ilustran numerosos ejemplos típicos de acotación. En las correspondientes leyendas se señalan, para cada caso, los puntos en que ha de fijar su atención el dibujante.

Como ya se ha dicho, las presentes normas son válidas únicamente para las representaciones de piezas en proyección ortogonal; *por consiguiente, sólo podrán acotarse las dimensiones que en la pieza resulten paralelas al plano del dibujo, quedando* **excluidas,** pues, *las correspondientes a partes vistas en escorzo.*

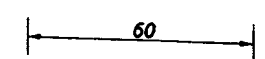


Fig. II, 125. *Aquí se ve cómo se han de escribir la cotas, según la reciente tabla UNI 3975.*

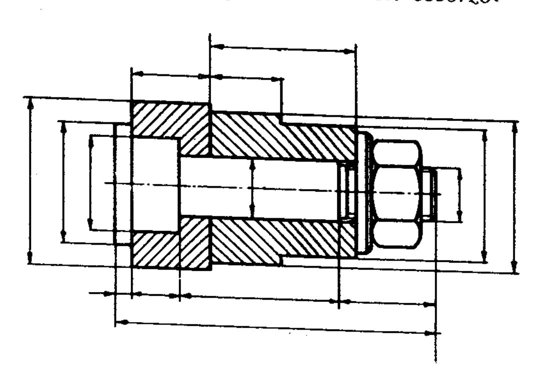


Fig. II, 126. *Como criterio general, se ha de procurar agrupar las líneas de medida de un modo lógico, separando, por ejemplo, las correspondientes a las partes exteriores de las correspondientes a las interiores. En cuanto a las piezas acopladas, conviene tener separadas las líneas de medida de cada pieza, como indica la figura.*

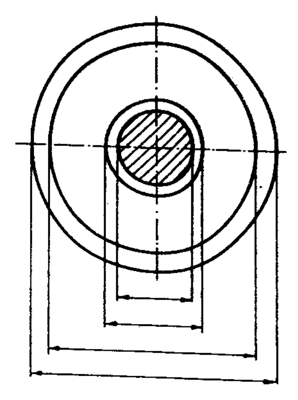


Fig. II, 127. *Cuando se hayan de acotar círculos en planta, las líneas de medida correspondientes a los diámetros pueden colocarse fuera, paralelamente a uno de los ejes principales.*

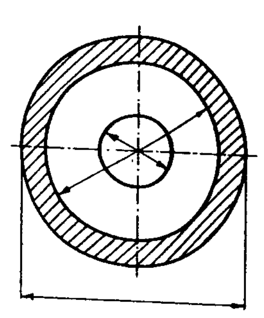


Fig. II, 128. *La acotación de círculos en planta puede hacerse también mediante líneas que pasen por el centro, formando ángulos de 30° ó 45° con los ejes de simetría,* con tal que los diámetros que se hayan de acotar en esta forma no sean más de dos.

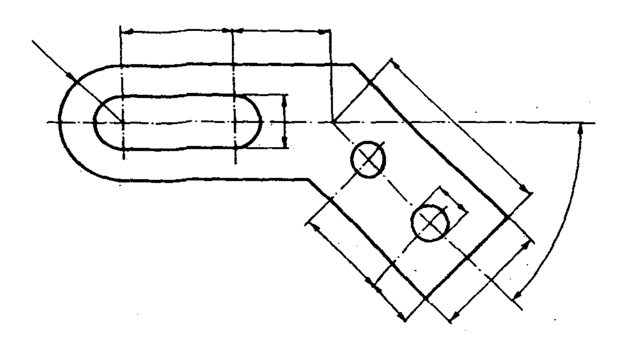


Fig. II, 129. *Acotación de una pieza que tiene partes con ejes concurrentes. En este caso conviene tomar como referencia el* punto de concurrencia, *orientando las cotas como indica esta figura.*

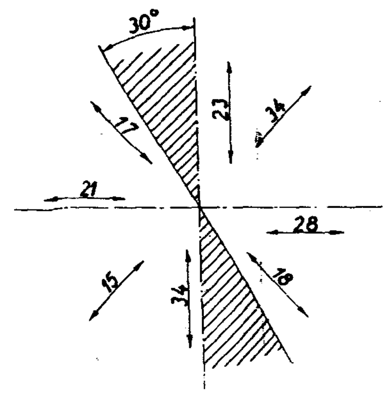


Fig. II, 130. *Disposición correcta de las líneas de medida y cotas inclinadas.* Se ha de evitar colocar tanto líneas de medida como cotas, dentro del sector de unos 30°, rayado en la figura.

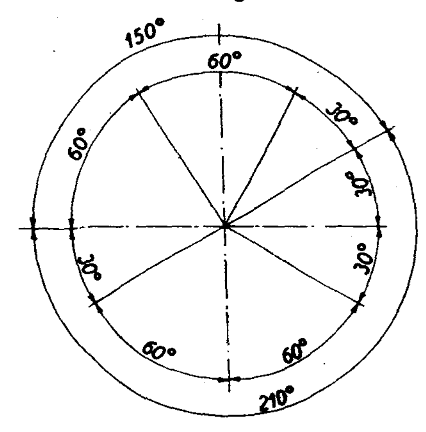


Fig. II, 131. Las cotas de los ángulos *se han de escribir como indica la figura.*

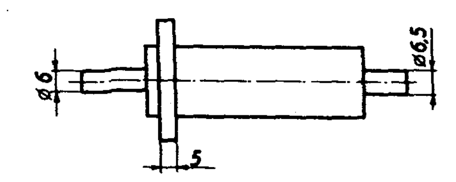


Fig. II, 132. *Si no hay espacio suficiente para escribir las cotas sobre la línea de medida, pueden dichas cotas escribirse* sobre la prolongación de la línea de medida, fuera de la flecha y, siempre que se pueda, a la derecha.

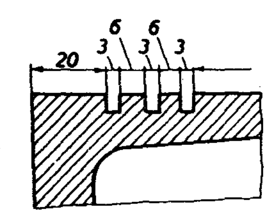


Fig. II, 133. *Cuando las cotas son muy numerosas y no hay espacio suficiente para escribirlas todas, alineadas, sobre la línea de medida, una parte de las mismas puede escribirse separada, con* un corto trazo de referencia.

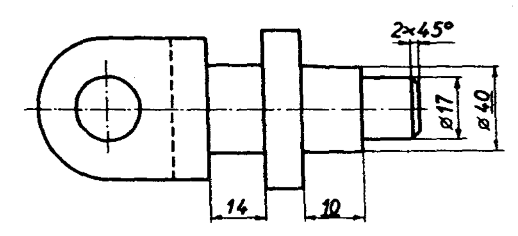


Fig. II, 134. *Las cotas de las partes de la pieza que, por algún motivo,* no estén dibujadas a escala, deben subrayarse de modo bien visible. *En este ejemplo no están a escala la cota 10 y el diámetro 40.*

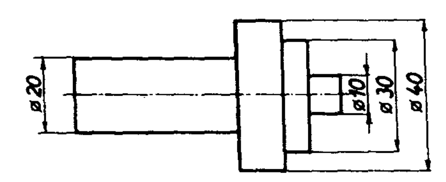


Fig. II, 135. Las cotas de los diámetros **deben** *ir siempre precedidas del signo Ø, a menos que se deduzca del dibujo, con toda evidencia, que se trate de diámetros.*

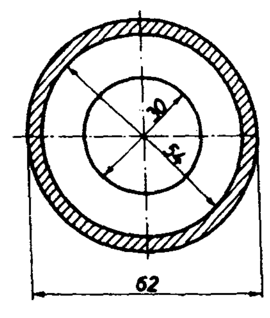


Fig. II, 136. *En esta figura no hay lugar a dudas; por lo que no es indispensable anteponer el signo Ø a las cotas de los diámetros.*

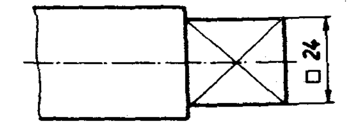


Fig. II, 137. *Una prolongación de sección cuadrada* **debe** *indicarse en el dibujo con las diagonales y su cota ha de ir precedida* **obligatoriamente** *del signo* □.

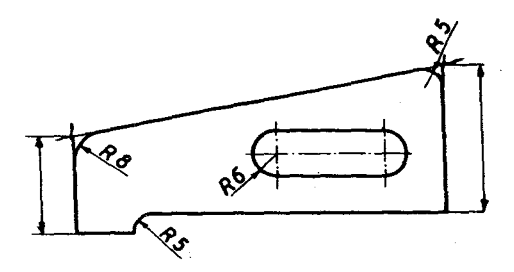
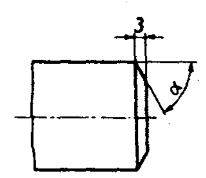


Fig. II, 138. *Las cotas de los radios* **deben** *ir precedidas de la letra R.*



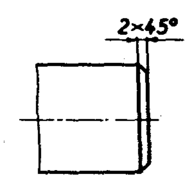


Fig. II, 139. **Fig. II, 140.**

Fig. II, 139. *Véase la manera de acotar, en general, los* **achaflanados.**

Fig. II, 140. *La indicación del achaflanado puede simplificarse como indica la figura, cuando el chaflán es de 45°.*

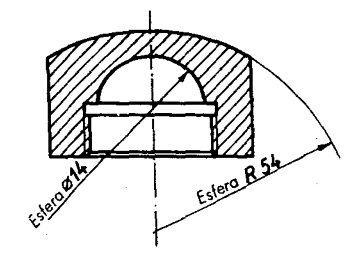


Fig. II, 141. *Las cotas de los radios o diámetros de las superficies esféricas* **deben** *ir precedidas de la palabra* esfera, *como se ve en la figura.*

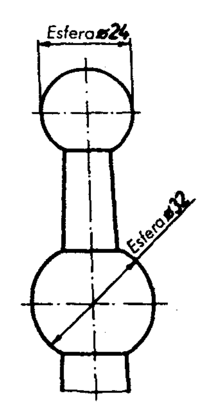


Fig. II, 142. *La figura representa una parte de una manija con dos ejemplos de indicación del diámetro de superficies esféricas.*

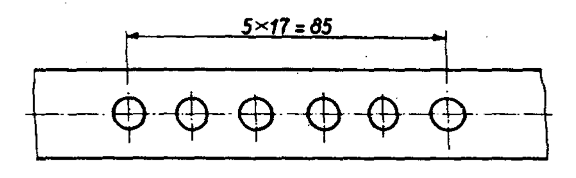


Fig. II, 143. *En la figura se ve un sistema simplificado para acotar elementos equidistantes. Se anota* la distancia entre ejes contiguos, el número de intervalos y la distancia total entre los ejes extremos, *con una sola línea de medida y una sola acotación.*

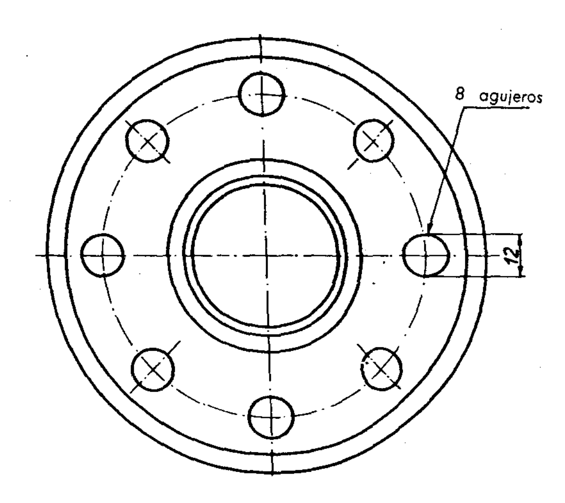


Fig. II, 144. *Otra anotación simplificada para acotar elementos* colocados regularmente.

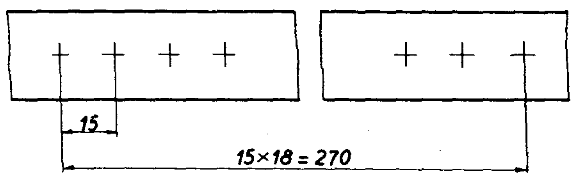


Fig. II, 145. *Las acotaciones simplificadas podrían resultar ambiguas cuando originasen una confusión entre el valor del paso (o distancia entre ejes) y el número de pasos; por ejemplo, si hay 18 pasos de 15 mm cada uno. En este caso, para evitar la confusión* se ha de acotar además uno de los pasos, como indica la figura.

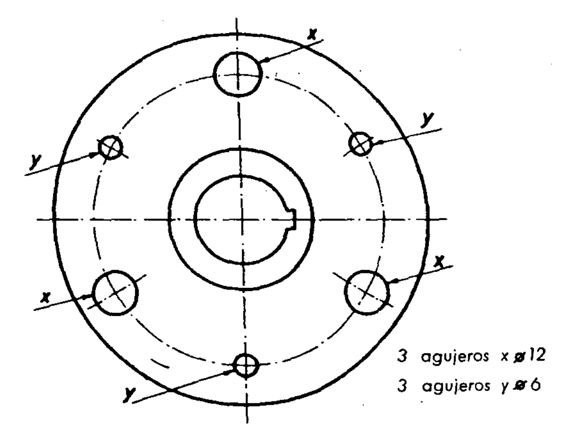


Fig. II, 146. *La figura indica cómo pueden usarse anotaciones de llamada para simplificar la acotación, cuando en el dibujo hay elementos repetidos, dispuestos con regularidad o no.*

L 5×75×9 -1270

Fig. II, 147. *Los* **perfiles laminados** *que tienen* un símbolo *unificado pueden acotarse indicando el símbolo, seguido de las medidas que caracterizan* las dimensiones de la sección del perfil, *separadas entre sí por el signo* ×, *a continuación un guión y finalmente* la longitud *L. La figura representa un perfil de ángulo de lados desiguales (L), de 5 × 75 × 9 mm, largo de 1270 mm.*

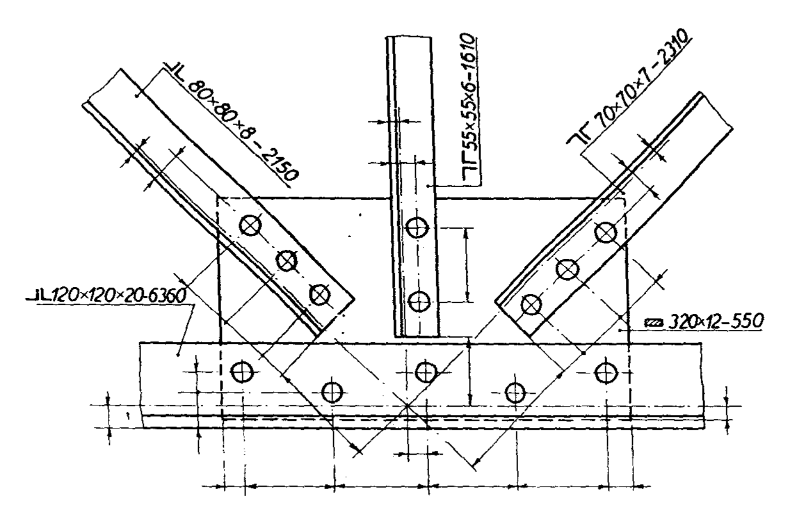


Fig. II, 148. *El sistema de acotación de perfiles indicado en la figura anterior puede aplicarse también a construcciones efectuadas con perfiles acoplados; en este caso el símbolo del perfil* se duplica *y se coloca según la posición del perfil correspondiente, como indica la figura.*

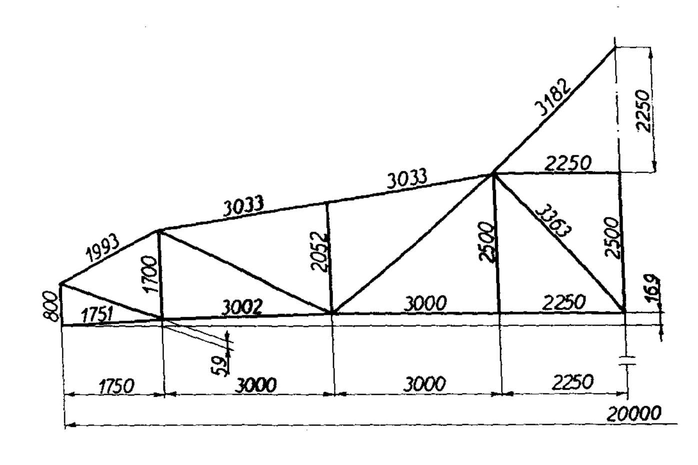


Fig. II, 149. *Las estructuras metálicas reticuladas representadas esquemáticamente pueden acotarse sencillamente indicando encima de cada segmento que represente un elemento, la distancia entre los nudos de sus extremos.*

NORMAS SOBRE LA NATURALEZA, CALIDAD Y FORMA DE LAS SUPERFICIES DE LAS PIEZAS

23. Aspereza superficial de una pieza mecánica

De cada superficie de una pieza representada en un dibujo técnico puede ser necesario indicar su calidad, sea por lo que afecta al grado de acabado correspondiente al mecanizado a que se ha sometido la pieza, sea teniendo en cuenta los nuevos tratamientos térmicos o superficiales (niquelado, cromado, etc.) que eventualmente haya de sufrir.

Desde el punto de vista del grado de acabado, el elemento que se toma en consideración es la **aspereza de la superficie.** Hasta 1957, faltaba en la unificación italiana una definición de la aspereza de las superficies; en octubre de 1957 se publicó un cuaderno único **(UNI 3963)** conteniendo 6 tablas **UNIPREA,** que, a título experimental, unifican este asunto de conformidad con las normas ISO.

A continuación se indica lo que de dichas normas puede interesar al dibujante.

Se considera **superficie de un objeto** el lugar geométrico de los puntos que separan los pertenecientes al objeto de los exteriores al mismo. Se ha de considerar la **superficie real,** que es la resultante de la fabricación y coincide prácticamente con la obtenida por medio de un instrumento moderno de medida mi-microgeométrica (con punta esférica de 0,001 mm), y la **superficie técnica,** definida convencionalmente como la superficie obtenida con los instrumentos antes indicados con explorador terminado por una punta esférica de 25 mm de radio, superficie que difiere en más o en menos de la **superficie ideal** representada en el dibujo.

Cortando la pieza con un **plano de relieve,** *normal a la superficie ideal de la pieza, se obtiene, como línea de intersección, el perfil de la superficie,* perfil que puede ser **real, técnico** o **ideal,** según sea la superficie **cortada** (fig. II, 150).

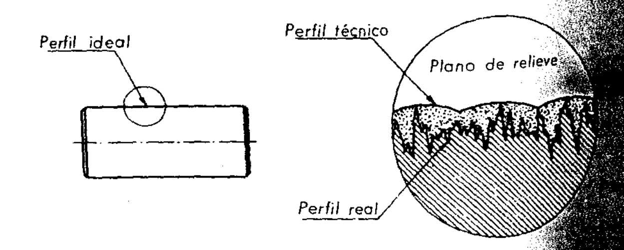


Fig. II, 150. *Definiciones de los perfiles real, técnico e ideal de una superficie, según las normas* UNI *sobre la aspereza.*

Las diferencias entre la superficie técnica y la ideal constituyen las **diferencias de forma,** que, por lo que se refiere a la aspereza de la superficie, no se toman en consideración.

El conjunto de las diferencias entre la superficie real y la técnica constituye la **aspereza,** *que puede tener una* **orientación** *cuando los surcos correspondientes tienen una dirección predominante y un* **paso,** *cuando los surcos tienen carácter periódico.*

El paso se define como la *distancia media entre las crestas preponderantes,* distancia medida sobre un plano del perfil *normal a la orientación.*

Establecido el *tramo de referencia,* o sea, la longitud del sector del perfil técnico sobre el que se efectúa la observación de la aspereza, se calcula la *línea media del perfil,* que es la línea de compensación del perfil real, paralela al perfil técnico (fig. II 151). Esta línea (cuya determinación se puede hacer por métodos que caen fuera de los límites del presente texto) divide el perfil real de modo que el *área total de las superficies llenas de material* (cuadriculadas) *sobre ella, resulte igual al área total de las superficies libres de material debajo de la misma* (rayadas); en cada punto del perfil real se considera la diferencia *y* respecto a la línea media, o sea, la distancia del perfil real a la línea media, medida perpendicularmente a ésta. *Como medida de la aspereza se toma la amplitud* $\mathbf{R}_a$ *del valor medio de los valores absolutos de las diferencias* (es decir, prescindiendo de su signo). Se podría decir más sencillamente que $\mathbf{R}_a$ se puede definir, refiriéndose a la figura II, 151, del modo siguiente : $\mathbf{R}_a$ = **(suma de las áreas de las partes cuadriculadas + suma de las áreas de las partes rayadas) dividida por la longitud del tramo de referencia.** $\mathbf{R}_a$ se expresa en *micras. Como grado de aspereza de una superficie se toma el valor máximo de* $\mathbf{R}_a$ *deducido de varios puntos de la superficie* (excluyendo los puntos en los que haya irregularidades accidentales, como rayas, corrosiones, etcétera).

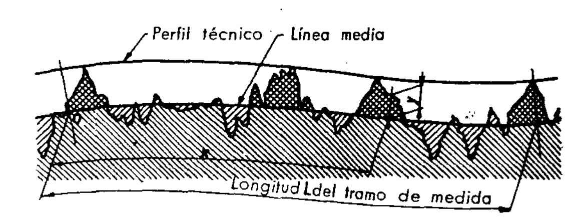


Fig. II, 151. *Esquema para determinar el grado de aspereza de una superficie, según las últimas unificaciones publicadas.*

24. Grados de aspereza

Los grados de aspereza se han de indicar en el dibujo únicamente cuando sea indispensable, porque el control de la aspereza representa un aumento considerable del coste de producción. Cuando sea necesario indicar el grado de aspereza, se recomienda usar los grados siguientes:

—	0,10	1	10
—	0,12	1,2	12
—	0,16	1,6	—
—	0,20	2	—
0,025	0,25	2,5	—
0,030	0,30	3	—
0,040	0,40	4	—
0,050	0,50	5	—
0,060	0,60	6	—
0,080	0,80	8	—

Como longitud del tramo de referencia, se toman valores diversos según el grado de aspereza que se prevé que tenga la superficie; estos valores no han de ser inferiores a los que se indican a continuación:

Para R_a de 0 a 0,3; $L = 0{,}25$ mm;
Para R_a de 0,3 a 3; $L = 0{,}80$ mm;
Para R_a de 3 ó más; $L = 2{,}50$ mm.

A título informativo se transcriben algunas aplicaciones corrientes, con la indicación del grado de aspereza recomendado (tabla 7).

Tabla 7

Ejemplos de aplicación de los diferentes grados de aspereza	
Grado de aspereza R_a	Aplicaciones (a título indicativo)
0,025	Planos de apoyo de micrómetros - Espejos Mármoles de comprobación.
0,05	Caras de calibres de taller - Planos de apoyo confrontadores
0,1	Caras de calibres de corredera (pies de rey) Pasadores de articulaciones - Herramientas de precisión - Cojinetes de acabado superfino - Uniones estancas para altas presiones y movimiento alternativo - Superficies acopladas de partes con movimiento alternativo, con cierre de líquidos a presión - Superficies pulidas de cierre sin juntas.
0,2	Soportes, cigüeñales, árboles de levas - Bulones de bielas - Vástagos de válvulas Superficies de excéntricas - Interiores de cilindros de bombas hidráulicas - Cojinetes lapeados - Gorrones de turbinas - Uniones estancas de movimiento manual - Guías de mesa de máquinas herramientas - Pivotes para alta velocidad - Gorrones de árboles de rotores de turbinas, de reductores, etc.

Tabla 7 (continuación)

0,4	Árboles acanalados - Cojinetes de árboles motores - Superficies exteriores de pistones Superficies interiores de cilindros - Gorrones de grandes máquinas eléctricas - Acoplamientos a presión - Asientos de válvulas Superficies de cierre de asientos y obturadores de válvulas, compuertas, etc. - Gorrones de cigüeñales y soportes de tramos de árboles - Cojinetes de metal blanco - Superficies de partes deslizantes, como patines y sus correspondientes guías.
0,8	Tambores de frenos - Agujeros brochados Cojinetes de bronce - Partes de precisión Dientes de engranajes - Cojinetes rectificados - Superficies de cierre de platinas sin juntas - Cojinetes de cigüeñales y soportes de tramos de árboles - Cojinetes de metal blanco - Superficies de partes deslizantes, como patines y sus correspondientes guías.
1,6	Caras especiales de engranajes - Árboles y agujeros de engranajes - Cabezas de cilindros - Cajas de engranajes de fundición Caras de pistones - Superficies de cierre de platinas con juntas metálicas.
3	Gorrones y cojinetes de transmisiones manuales - Superficies de acoplamiento de partes fijas desmontables (platinas de acoplamiento, lunetas de centrado, etc.).
6	Superficies de cierre de platinas con juntas corrientes.

En el capítulo VI se indicarán los valores medios de las asperezas correspondientes a las diferentes calidades de trabajo y se transcribirá una tabla con la indicación de las asperezas que se obtienen con varias clases de mecanizado.

El grado de aspereza ya se ha tomado en consideración en las unificaciones de otros Estados: las diferentes normas anglosajonas, que difieren muy poco entre sí (indicadas en las siglas **AA; CLA; RMS**), expresan el grado de aspereza en micropulgadas, que se pueden convertir en $\mathbf{R}_a$ multiplicándolas por el factor $\mathbf{25 \cdot 10^{-3}}$; o sea, poniendo **40 RMS** (o *AA* o *CLA*) $= \mathbf{1\ R}_a$.

Para indicar las calidades de las superficies desde el punto de vista del acabado, el *UNI* había fijado **(UNIM 36)** unos símbolos gráficos, reproducidos en la tabla siguiente, junto con las explicaciones correspondientes; estos signos se emplean todavía y se aceptan *transitoriamente*, habiéndose establecido para algunos de ellos, precisamente para los formados por pequeños triángulos adyacentes, la equivalencia con la $\mathbf{R}_a$.

Se ha de hacer notar que el signo formado por 4 triángulos adyacentes no está incluido entre los de la **UNIM 36**; pero su uso está muy extendido, como complemento de los otros signos (tabla 8).

En las figuras 152-157 se ven algunos ejemplos de designación según las normas transitorias. En las correspondientes leyendas se indican las normas que se han de seguir, que no se detallan en el texto.

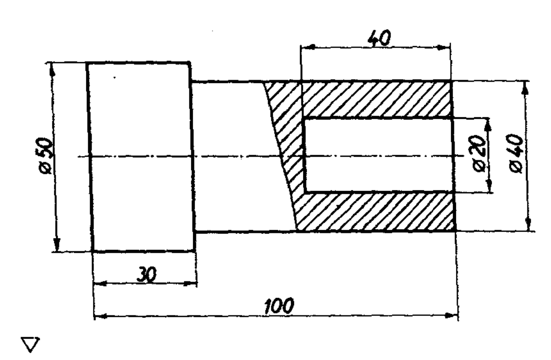


Fig. II, 152. *Cuando todas las superficies de una pieza hayan de presentar el mismo grado de acabado, el símbolo puede colocarse aparte en el dibujo en vez de sobre las diferentes superficies.*

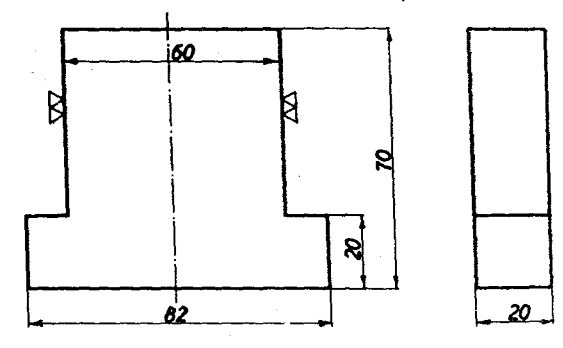


Fig. II, 153. *Cuando todas las superficies presenten el mismo grado de acabado, exceptuadas algunas, se indica sobre estas últimas el signo especial de acabado; se indica además aparte el signo general y entre paréntesis el signo correspondiente a las superficies con acabado especial. En el ejemplo todas las superficies están desbastadas, menos dos que están cepilladas.*

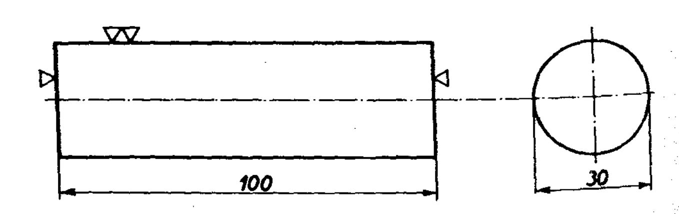


Fig. II, 154. *Cuando la pieza tiene pocas superficies, conviene en cambio consignar los signos de mecanizado sobre todas las superficies.*

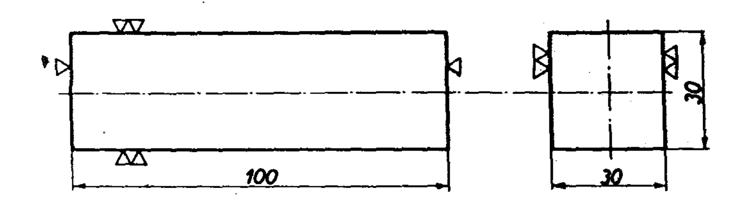


Fig. II, 155. *Indica cómo se colocan los signos de mecanizado sobre la proyección principal o sobre una vista lateral.*

Tabla 8

Tabla de los signos gráficos que indican la naturaleza de las superficies (UNIM 36) aceptados transitoriamente

Símbolos	Denominación de la superficie	Características	Operaciones correspondientes
	En bruto	Sin ningún acabado	Fundición, forja, laminado, estirado, etc.
	Bruta lisa	Realizada con más cuidado de modo que la aspereza sea poco elevada.	Como los anteriores, pero más esmerados.
	Desbastada	Obtenido con trabajo manual o mecanizado poco cuidadoso, equivale a 12 R_a.	Con uno o más desbastados en máquinas que levantan virutas (torno, limadora, cepilladora, taladradora, fresadora, etc.) o con trabajo manual con lima gruesa o basta.
	Alisada	Equivale a 3 R_a.	Con pasadas de acabado en las máquinas antes indicadas o con trabajo manual con lima fina o muy fina.
	Rectificada	Equivale a 0,8 R_a.	Con pasadas de acabado en rectificadoras o con trabajo manual de rasquete.
	Superfina (lapeada)	Equivale a 0,2 R_a.	Con operaciones de acabado muy cuidadoso (lapeado, bruñido) o también (según la máxima aspereza admitida) con rectificado muy cuidadoso.
	Tratamiento vario indicado de vez en cuando	Diversas, según la clase de tratamiento superficial.	Según la tabla **UNIM 18**, las operaciones y tratamientos pueden ser: **Bastos:** desbarbar, esmerilar, cepillar, desincrustar, pulir en tambor, cortar, punzonar, aserrar. **De herramientas:** desbastar, alisar con herramienta, esmerilar con muela, rectificar, esmerilar (una pieza sobre otra), rascar, pasar escariador, brochar. **Tratamientos térmicos:** recocer, cementar, templar, revenir, tratar térmicamente. **Para embellecer:** bruñir, pulir (con pulidora), matizar, decapar (con ácido), martillar, damasquinar. **Recubrimientos:** barnizar, espatular o estucar; niquelar, encobrar, galvanizar, estañar, etc.; esmaltar, recubrir de ...; chapear de ...; oxidar, ennegrecer, pintar, pavonar. **Coligaciones:** encolar, soldar dulce; soldar fuerte; soldar con autógena, soldar eléctricamente; rebordear, mandrilar, remachar, prensar (en frío), calar en caliente. **Cierres para gas y líquidos:** apretar (con juntas); recalcar (achaflanar); calafatear (con juntas). **Varios:** aislar térmicamente; aislar eléctricamente, impregnar; acuñar; embutir; moletear paralelo; moletear en cruz; moletear en equis.

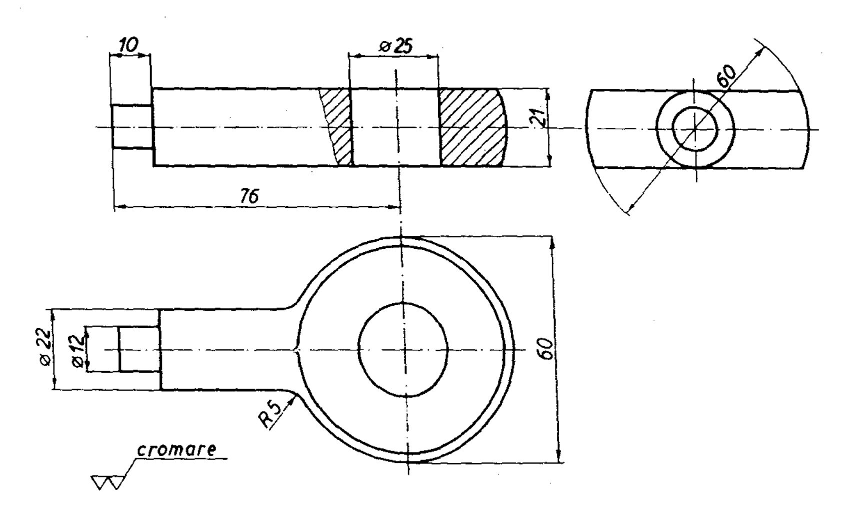


Fig. II, 156. *Se indica con un solo signo que la pieza se ha de alisar en toda su superficie y después se ha de cromar.*

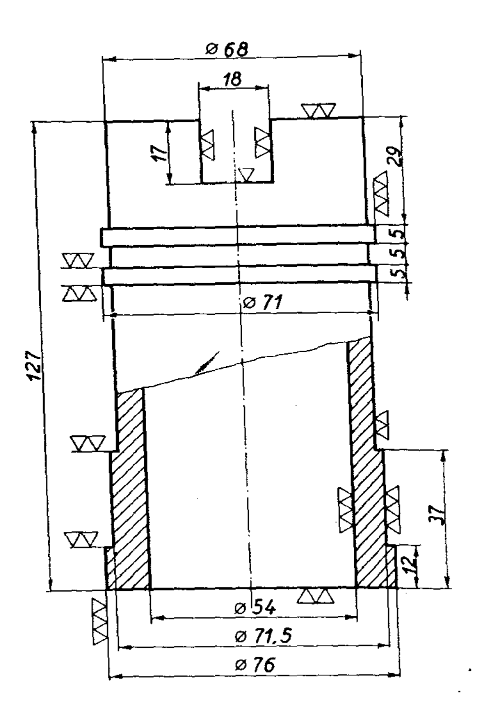


Fig. II, 157. *Este dibujo es un ejemplo de la forma de indicar la clase de trabajo de las superficies de una pieza, cuyas diferentes superficies se han de mecanizar con diferentes grados de acabado.*

25. Chaflanes y redondeados

En varias ocasiones se ha llamado la atención sobre el hecho de que las piezas mecánicas, excepto en casos de necesidad absoluta, no deben:

a) presentar cambios bruscos de sección, porque en ellos se forman secciones en las que se producen fácilmente rebabas y roturas;

b) presentar exteriormente aristas vivas porque se estropean fácilmente y pueden, además, causar heridas en el caso de golpes.

Por esto se efectúan chaflanes y redondeados, que se han de indicar en los dibujos. Las indicaciones de los chaflanes y redondeados están también unificadas (tabla **UNI 148**). Recientemente, en la tabla **UNI 3975** se han introducido variaciones en la representación de los chaflanes y redondeados.

La representación normalizada de los chaflanes y redondeados en los dibujos está indicada en las figuras **II**, 138-140 y en las figuras **II**, 158-161.

R5
4×45°

Fig. II, 158. *Indicación de chaflán a 45° y de acuerdo con radio de curvatura de 5 mm.*

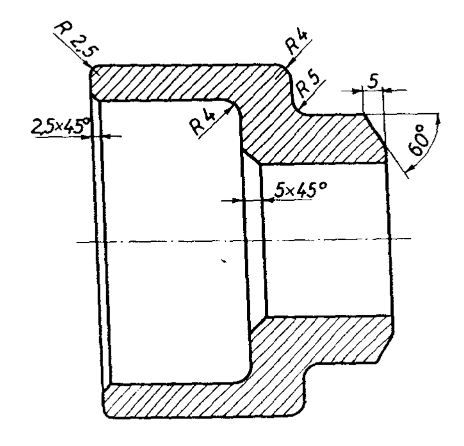
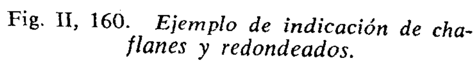


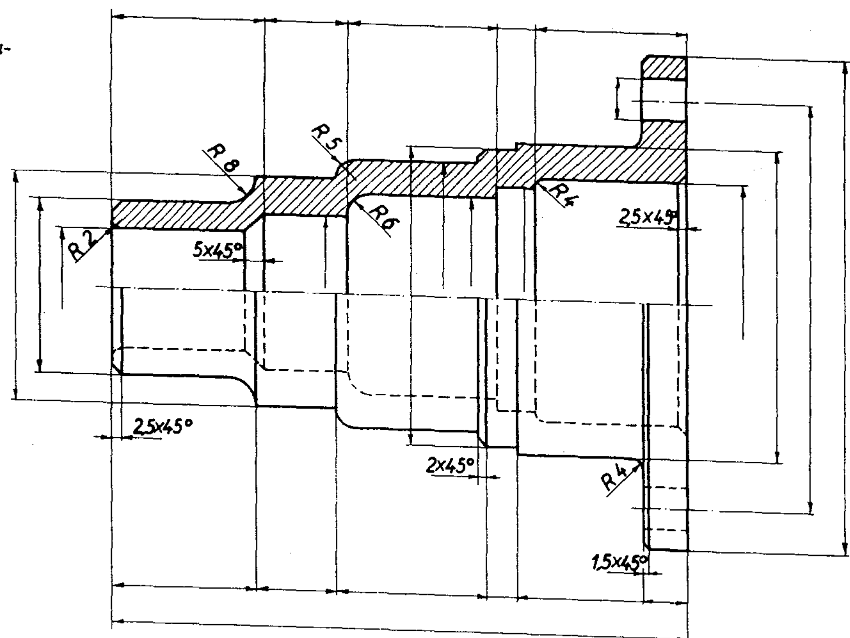
Fig. II, 159. *La indicación de los chaflanes de 45° (más corrientes) está simplificada, diferenciándose de la de chaflanes de otros ángulos (en la figura, 60°).*

26. Moleteado

Con frecuencia se graba sobre la superficie exterior de piezas cilíndricas el moleteado, ya sea para adornar dichas superficies, ya sea para, si son parte de piezas como tornillos, manijas, etc., facilitar las operaciones de atornillar o de asir, haciendo áspera la superficie que se coge e impidiendo así el resbalamiento.

Los moleteados se hacen ordinariamente en el torno o en máquina automática, con una herramienta apropiada llamada *moleta*.


Fig. II, 160. *Ejemplo de indicación de chaflanes y redondeados.*



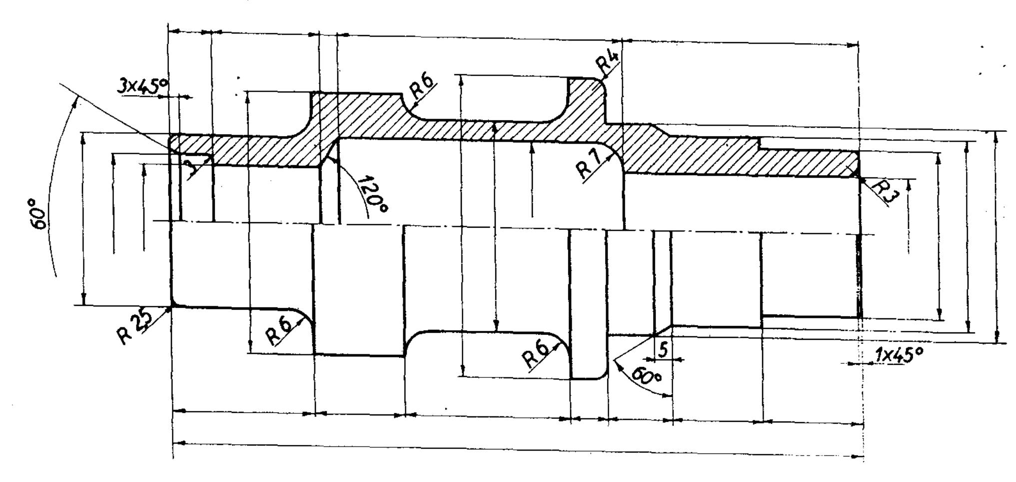


Fig. II, 161. *Otro ejemplo de indicación de chaflanes y redondeados.*

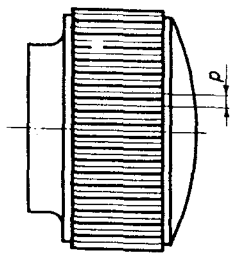


Fig. II, 162.

Fig. II, 163.

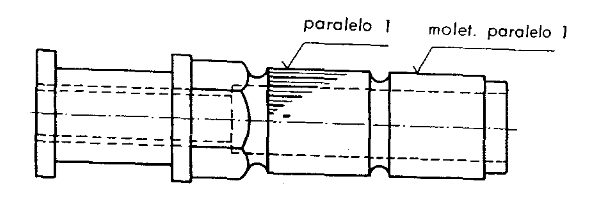
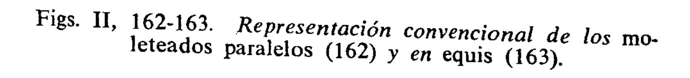


Fig. II, 164.


Figs. II, 162-163. *Representación convencional de los* moleteados paralelos (162) *y en* equis (163).

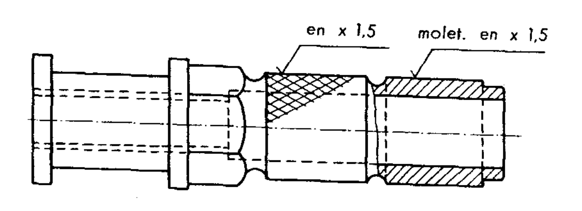


Fig. II, 165.

El moleteado puede ser **paralelo, inclinado y en X.** Las figuras II, 162-163 representan los moleteados unificados de acuerdo con las normas **UNI 149,** en las cuales aparece indicado también el paso del moleteado.

Figs. II, 164-165. *Véase cómo se representan convencionalmente dos piezas que tienen superficies moleteadas de alguna extensión.*

Los pasos unificados de moleteado son los siguientes:

Paralelo				En X				
0,5	0,8	1	1,5	0,5	0,8	1	1,5	2

Nota. Aquí es necesario advertir que algunos textos y algunos profesores de dibujo pretenden que el moleteado paralelo normal se represente no por trazos paralelos equidistantes, como prescribe el **UNI**, sino por trazos que se van aproximando a medida que se acercan al borde, según las reglas de proyección. *Esta teoría se ha de considerar* **errónea** *por dos razones:* en primer lugar, porque la representación del moleteado es *convencional y unificada* y por lo tanto no puede variarse según criterios particulares; en segundo lugar, porque no *se ve el motivo* para aplicar las reglas de proyección solamente al moleteado paralelo normal (donde la aplicación, aun a ojo, de las reglas de proyección sería sencillísima) y no al moleteado inclinado o cruzado (donde la proyección de las hélices que forman el moleteado produciría una serie de sinusoides de trazado dificilísimo).

27. Conicidad e inclinaciones

En el dibujo de una pieza de forma cónica o troncocónica, se ha de indicar el **grado de conicidad.** Esto ocurre, por ejemplo, en los conos de sujeción, puntas de torno y otras máquinas herramientas, para extremos cónicos de árboles, pasadores, etc., para escariadores, llaves de grifos, etc.

Muchas veces se tendrá que indicar también en los dibujos las **inclinaciones de** planos respecto a otro plano considerado como de referencia (por ejemplo, en las chavetas, bancadas de máquinas, etc.). El modo de consignar tales indicaciones en los dibujos está unificado.

En la tabla **UNI 157** se indican dos maneras de designar la conicidad; la primera se usa para conicidades pequeñas, o sea, para pequeños ángulos de los conos, y la segunda para grandes conicidades.

a) las conicidades pequeñas o moderadas se indican con (fig. II, 166):

conicidad 1 : k

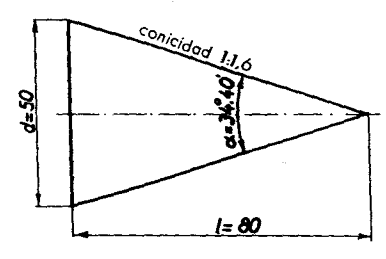


Fig. II, 166. *Las conicidades moderadas se indican con el cociente* 1 : k, *donde* k *es la longitud, medida sobre el eje del cono, a lo largo de la cual el diámetro experimenta una variación igual a* 1. *Se deducen del examen de la figura las relaciones geométricas y trigonométricas:*

$1 : k = d : l \qquad tg\frac{\alpha}{2} = \frac{d}{2l}$

Con esto se entiende que (fig. II, 167) *sobre la longitud* **k**, *medida sobre el eje del cono, el diámetro experimenta una variación igual a* **1** (tomando naturalmente la misma unidad de medida que la de **k**).

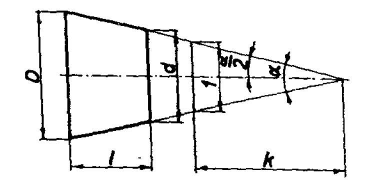


Fig. II, 167. *Tanto en el caso de un cono, como de un tronco de cono, del examen de la sección del cono, se pueden deducir las relaciones entre dimensiones y conicidad:*

$1 : k = (D - d) : l \qquad tg\frac{\alpha}{2} = \frac{D-d}{2l}$

Es evidente que la conicidad será tanto mayor cuanto menor sea **k**, o sea, que la *conicidad y* **k** *son* **inversamente** *proporcionales.*

En relación con esta definición se puede establecer (fig. II, 166) la proporción:

$$\mathbf{1 : k = d :} \, l$$

En el caso representado en la figura, se tiene

$$1 : k = 50 : 80, \quad \text{o sea,} \quad k = \frac{80}{50} = 1{,}6;$$

la conicidad es 1 : 1,6.

Para calcular el ángulo α del cono (fig. II, 166), se tiene, evidentemente:

$$\mathbf{tg}\frac{\alpha}{2} = \frac{\mathbf{d}}{2l}$$

En el caso representado en la figura, se tiene, sustituyendo los valores:

$$tg\frac{\alpha}{2} = \frac{d}{2l} = \frac{50}{160} = 0{,}312$$

Y en la tabla de líneas trigonométricas se halla

$$\frac{\alpha}{2} = 17° \ 20'$$

En el caso de tratarse de un tronco de cono no hay evidentemente diferencias esenciales.

La proporción inicial será (fig. II, 167)

$$\mathbf{1 : k = (D - d) :} \, l$$

de la cual se deduce $\mathbf{k} = \frac{l}{\mathbf{D - d}}$.

Siendo $\frac{\alpha}{2}$ la semiabertura del cono (fig. II,

se tiene evidentemente, con las anotaciones de la figura:

$$\mathbf{k} = \frac{1}{2\,\mathrm{tg}\frac{\alpha}{2}} = \frac{100}{\mathbf{p}} = \frac{l}{\mathbf{D} - \mathbf{d}}$$

Conociendo **k** se puede deducir inmediatamente el **porcentaje de conicidad p%**, significándose con esta locución que, *sobre la longitud* 100, *medida a lo largo del eje del cono, el diámetro del cono experimenta una variación* **p** (fig. II, 168). Con las anotaciones de la figura se tiene también:

$$\mathrm{tg}\frac{\alpha}{2} = \frac{\mathbf{p}}{200}; \qquad \mathbf{p} : 100 = (\mathbf{D} - \mathbf{d}) : l$$

De donde se deduce:

$$\mathbf{p} = 100\,\frac{\mathbf{D} - \mathbf{d}}{l} = \frac{100}{\mathbf{k}}$$

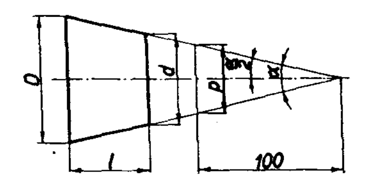


Fig. II, 168. *Se entiende por* **porcentaje de conicidad** *la variación* p *que experimenta el diámetro sobre la longitud* 100. *Por lo tanto:*

$$p : 100 = (D - d) : 1; \qquad \text{o sea} \qquad p = \frac{100}{k}$$

Por tanto, *para averiguar el porcentaje de conicidad bastará multiplicar por* 100 *el número inverso de* **k.**

En la figura II, 169 se ve un ejemplo de cómo se indica la conicidad de un tronco de cono.

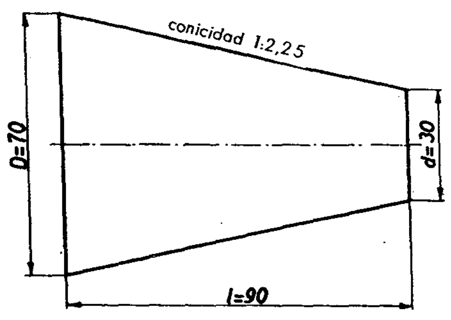


Fig. II, 169. *Ejemplo de designación de conicidad de una pieza troncocónica.*

b) Para las grandes conicidades, en cambio, se indica solamente el ángulo de abertura del cono (60°; 90°; etcétera).

Para piezas de sección cuadrada, en vez de conicidad, se habla de **convergencia** (fig. II, 170).

En la tabla UNI 157 de que hemos hablado hay varios ejemplos para orientación, de aplicación de varios grados de conicidad, de los cuales entresacamos los expuestos a continuación (tabla 9):

Tabla 9

Ejemplos de aplicación de los diferentes grados de conicidad

Designación	Aplicaciones	1 : K	p%	α/2
1 : 50	Pasadores cónicos	1 : 50	2%	0° 34′ 22″
1 : 30	Conos de sujeción en husillos de máquinas herramientas	1 : 30	3,33%	0° 57′ 17″
1 : 15	Vástagos de émbolos	1 : 15	6,67%	1° 54′ 34″
1 : 10	Pasadores de acoplamiento. Casquillos regulables	1 : 10	10%	2° 51′ 45″
1 : 5	Pasadores de ajuste fácilmente desmontables. Embragues de fricción Vástagos de émbolos para máquinas auxiliares	1 : 5	20%	5° 42′ 38″
1 : 3	Conos de retención para muelles de válvulas	1 : 3	33,3%	9° 27′ 45″
30°		1 : 1,866	53,5%	15°
45°		1 : 1,207	83%	22° 30′
60°	Agujeros protectores de puntos de centrado para mecanizado en máquinas herramientas. Uniones cónicas para roscas ligeras de tubos	1 : 0,866	115%	30°
75°	Agujeros de centrado para piezas de gran peso	1 : 0,652	153,5%	37° 30′
90°	Conos de válvulas. Agujeros de centrado para piezas muy pesadas. Extremos de tornillos de sujeción	1 : 0,500	200%	45°
120°	Avellanados y chaflanes de protección de roscas. Asientos de válvulas para motores de aviación	1 : 0,289	346%	60°

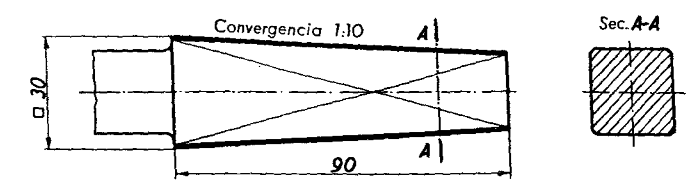


Fig. II, 170. *En las piezas de sección cuadrada (o poligonal), se emplea la palabra convergencia, en lugar de conicidad.*

En esta tabla UNI se indican además otras varias conicidades, que pueden usarse excepcionalmente en casos de absoluta necesidad. Están también expuestas las conicidades empleadas exclusivamente para el calado de herramientas (conos Morse, conos métricos, etcétera).

Las definiciones de conicidad y convergencia se aplican también, siempre que sea posible, a la inclinación de una superficie plana con respecto a otra.

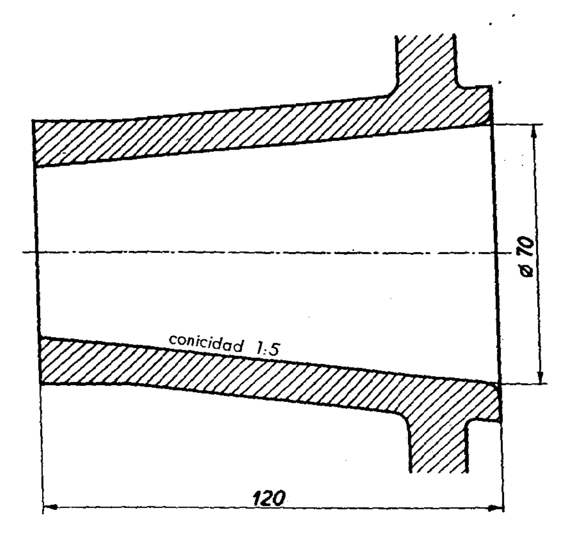


Fig. II, 171. *Ejemplo de designación de conicidad.*

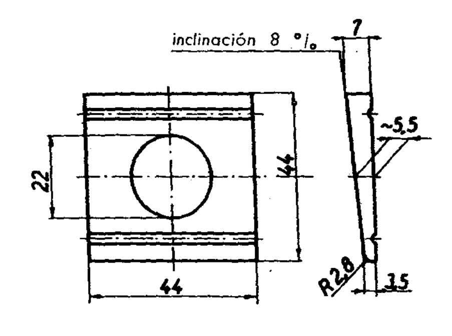


Fig. II, 172. *Ejemplo de designación de la inclinación de una cara de una plaquita.*

En las figuras II, 171-176 se ven algunos ejemplos de indicación de conicidad e inclinaciones.

En estas figuras se puede ver también la aplicación de las otras reglas y disposiciones sobre acotaciones, sobre chaflanes y redondeados, sobre rayados de las secciones y sobre signos de trabajo.

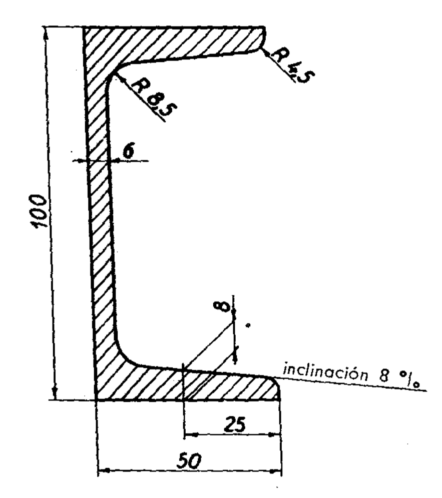


Fig. II, 173. *Ejemplo de designación de la inclinación de una superficie plana.*

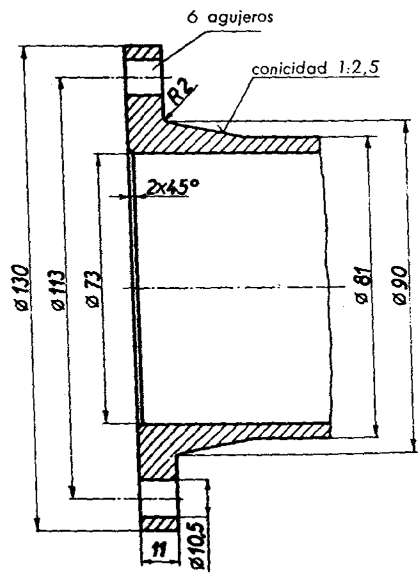


Fig. II, 174. *Dibujo de una brida con indicación de la conicidad.*

Las figuras 171, 174, 175 y 176 se refieren a piezas de forma realmente cónica: las figuras 172 y 173 a piezas que tienen una superficie plana con una inclinación dada respecto a otras superficies planas de referencia.

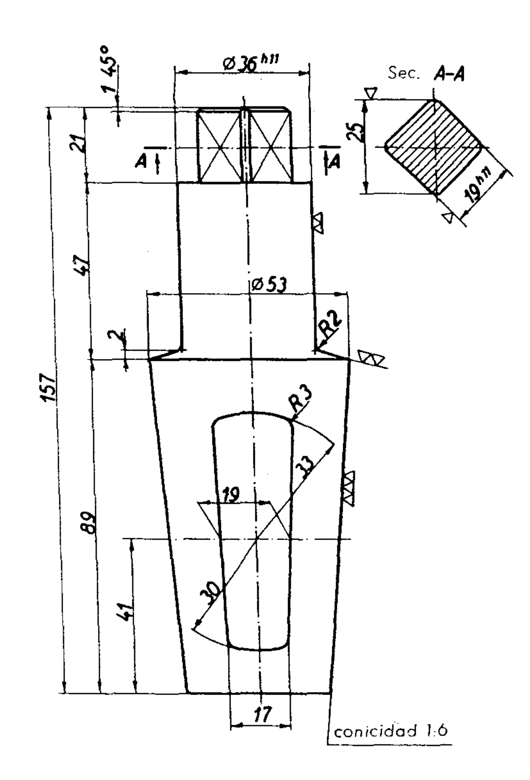


Fig. II, 175. *Ejemplo de acotación de una pieza cónica. Obsérvese la colocación de los signos de trabajo, en relación con la funcionalidad de la pieza, que no es otra que una llave de grifo. La parte cónica es la única que se ha de ajustar con precisión al correspondiente asiento cónico hueco, por lo que está rectificada. El vástago de sección cuadrada se ha indicado, según las normas, en la forma prescrita en la figura II, 137.*

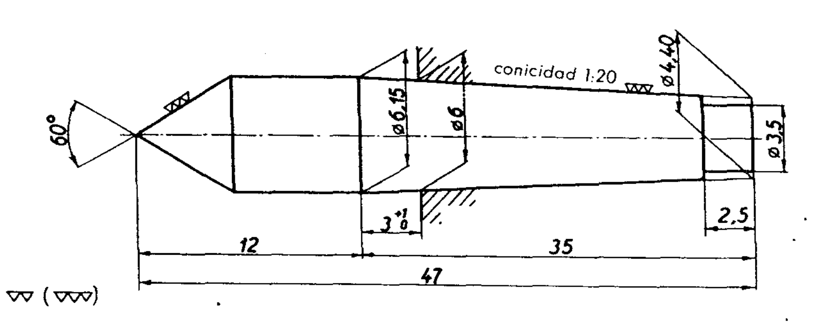


Fig. II, 176. *Punta de torno. Esta punta se compone, entre otras, de dos partes cónicas, una de poca conicidad (1:20); la otra con una conicidad de 60°. Nótese que la longitud de la parte cónica de 60° no está acotada, ya que no es necesario, por estar perfectamente determinada.*

Capítulo VI

TOLERANCIAS DE TRABAJO

28. Métodos de trabajo

Todas las máquinas, desde la más complicada, compuesta de gran cantidad de piezas, a la más sencilla, formada por sólo dos piezas, están siempre compuestas de piezas mecánicas unidas entre sí, o sea, unidas una con otra o con otras, de modo que sea posible el movimiento de una pieza con respecto a la que está unida (*ajuste* **móvil**), o bien que sea imposible dicho movimiento (*ajuste* **fijo).**

Ahora bien, en la construcción de una máquina se pueden seguir dos métodos esencialmente diferentes:

a) *Las piezas que se han de unir se construyen conjuntamente y al mismo tiempo, procediéndose luego a un cuidadoso montaje de las mismas* **mediante continuas operaciones de ajuste o de rectificado.** Este método, lento y costoso, por exigir mano de obra especializada para los trabajos de ajuste, produce naturalmente mecanismos de alta o altísima calidad y consecuentemente de precio muy elevado. El recambio de una pieza es por esto mismo una operación larga y cara, que requiere nuevas operaciones de ajuste y rectificado.

b) *Las diferentes piezas que se han de ajustar se construyen separadamente, en completa independencia unas de otras, **en serie**,* o sea, en gran cantidad; *durante la fabricación se van comprobando las piezas de tal modo que, una vez terminada la fabricación de una serie completa de piezas, cada una de ellas, tomada* **al azar** *entre las recibidas de conformidad de la misma serie, pueda ser ajustada* **sin ningún trabajo especial de adaptación** *a la pieza correspondiente a que se haya de unir.* Este sistema, llamado **de fabricación en serie,** produce indudablemente mecanismos de calidad inferior a la de los obtenidos por el sistema anterior, pero de coste mucho más bajo; y permite una producción rápida y masiva. No es una de las menores ventajas de este sistema de fabricación la *facilidad de las reparaciones* mediante el recambio de una pieza gastada o averiada; basta en efecto pedir al fabricante la pieza que se necesita, que generalmente estará disponible en el almacén; dicha pieza podrá reemplazar a **la deteriorada sin ninguna operación de ajuste.**

En las páginas siguientes se señalarán los criterios y las consideraciones en que se funda la posibilidad de la fabricación en serie.

Pero antes de empezar este estudio, conviene hacer notar que, entre los diferentes tipos de ajuste con que pueden unirse dos piezas (ensambladura en cola de milano, acoplamiento prismático, acoplamiento de rótula, etc.), el más sencillo y el más extendido es el de **eje-agujero,** en el que un eje cilíndrico se ajusta a

un agujero también cilíndrico (fig. II, 177). Puesto que todo lo que se dirá sobre el ajuste eje-agujero se puede aplicar sin variaciones importantes a todos los demás ajustes, en las páginas que siguen se tratará únicamente de dicho ajuste fundamental.

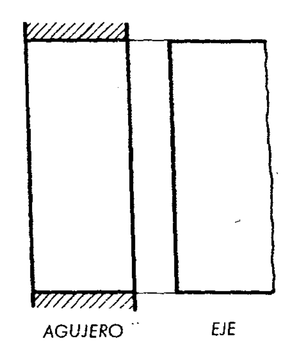


Fig. II, 177. *Esquema de ajuste eje-agujero.*

29. Medida nominal - Tolerancia Diferencias

Cuando se dibuja una pieza mecánica, se señala para cada una de sus dimensiones una medida llamada **cota** o **medida nominal.** Si, por ejemplo, la medida indicada en el dibujo es de 95 mm, se dirá que la medida nominal de la pieza es de 95 mm.

La dimensión o medida nominal de la pieza que estamos considerando define la **línea de cero** (figs. II, 178-179).

Ahora bien, es evidente que, en la práctica, al fabricar una pieza *no se obtendrá nunca la medida nominal exacta,* debido a las inevitables inexactitudes de fabricación. La imposibilidad práctica de lograr la precisión absoluta en la fabricación de una pieza es el resultado de dos causas bien patentes. En primer lugar, exigir una exactitud de fabricación mayor de la necesaria para el buen funcionamiento de la pieza sería perfectamente inútil y ocasionaría una pérdida de tiempo y de dinero perjudicial e inútil; en segundo lugar, la perfección absoluta en la construcción de la pieza no se puede alcanzar jamás, debido a que todos los instrumentos de medida y de comprobación que se emplean para tomar las medidas de las piezas durante su fabricación y en la comprobación final, dan unas medidas con cierta aproximación, pero nunca exactas. Así, por ejemplo, empleando un calibre decimal, que se supone de construcción perfecta, se alcanza como máximo una aproximación de una décima de milímetro; por lo que, cuando se dice que un diámetro es de 26,4 mm, se indica solamente que su medida está comprendida entre 26,35 milímetros y 26,45 mm. Empleando el micrómetro se llega a una precisión de la centésima de milímetro; lo que significa que leyendo por ejemplo la cota 26,43, se debe entender con una aproximación de una centésima de milímetro. Con los milesímetros, se llegaría a la precisión de la milésima de milímetro; mayor precisión se logra aún con otros instrumentos; pero la *exactitud absoluta de una medida es imposible de lograr.*

Si ahora se considera una serie de ejemplares de la misma pieza mecánica a los que se ha asignado idéntica dimensión nominal, se dirá que todas aquellas piezas son *técnicamente iguales* si, comprobando con el mismo instrumento su medida nominal, la medida real de cada una está contenida dentro de unos límites que garanticen el funcionamiento satisfactorio de la misma, de manera que tales piezas puedan sustituirse mutuamente en el conjunto mecánico de que puedan formar parte.

La diferencia entre la medida máxima y la medida mínima admisibles para una pieza dada, se designa con el nombre de **tolerancia** *admitida en la fabricación de dicha pieza* (figs. II, 180-181).

$$\mathbf{t = D_{máx} - D_{mín}}$$

Refiriendo ahora las medidas máxima y mínima a la medida nominal, o sea, a la línea de cero, nace el concepto de **diferencia superior** e **inferior** (fig. 182).

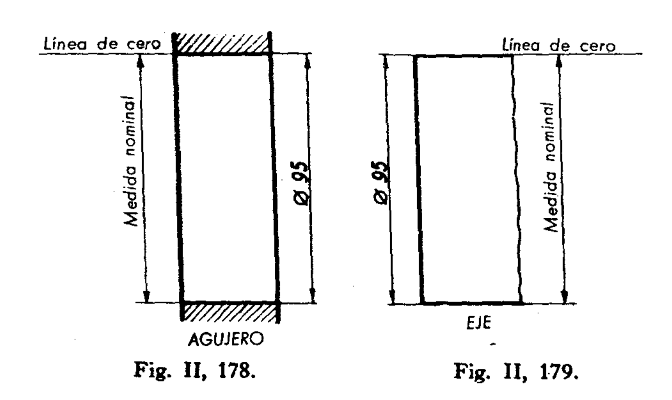


Fig. II, 178. **Fig. II, 179.**

Figs. II, 178-179. *La medida nominal de un agujero o de un eje (y en general de cualquier pieza mecánica) determina la* **línea de cero.**

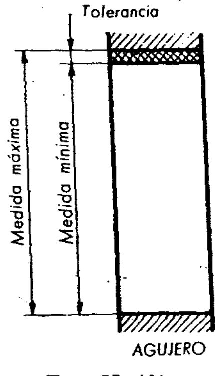




Fig. II, 180.

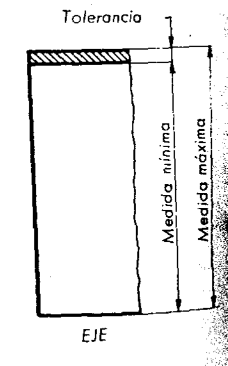


Fig. II, 181.

Figs. II, 180-181. *La diferencia entre las medidas máxima y mínima admisibles para un agujero o para un eje, se denomina* **tolerancia.**

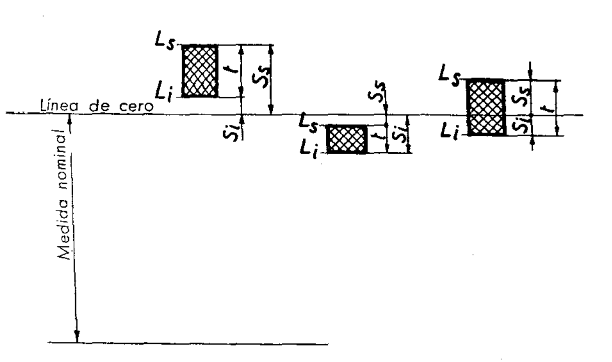


Fig. II, 182. *Se denomina* **diferencia inferior** S_i *la diferencia entre la medida mínima admisible y la medida nominal; y* **diferencia superior** S_s *la diferencia entre la medida máxima y la medida nominal. La posición de una tolerancia queda perfectamente determinada conociendo la* diferencia inferior S_i *o la* diferencia superior S_s *o sea la distancia del límite inferior* L_i *o del límite superior* L_s *a la línea de cero*

Se llama **diferencia inferior** S_i *la diferencia entre la medida mínima admisible y la medida nominal:*

$$S_i = D_{mín} - D_n \ *$$

De la misma manera se llama **diferencia superior** S_s *la diferencia entre la medida máxima admisible y la medida nominal:*

$$S_s = D_{máx} - D_n$$

Las diferencias serán *positivas* si están por encima de la línea de cero; y *negativas* en el caso contrario.

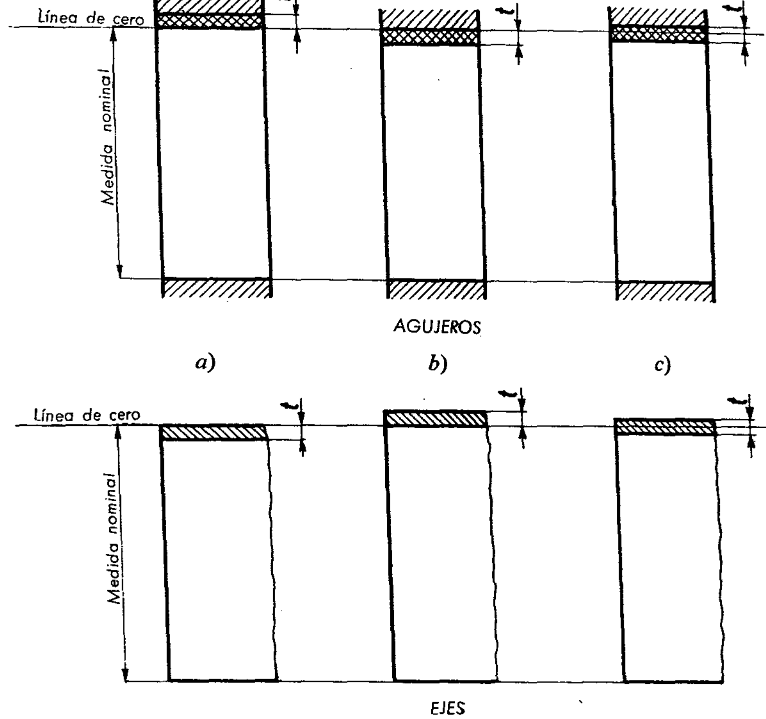
En las figuras 183-184, se ve que puede suceder que *las medidas máxima y mínima sean mayores ambas que la medida nominal;* o que *sean ambas menores que la medida nominal*. En estos dos casos, las diferencias estarán ambas *encima* o bien *debajo* de la línea de cero y la tolerancia toma el nombre de **unilateral** (fig. 183). Pero puede suceder, por el contrario, que *la medida máxima sea mayor que la medida nominal y que la mínima sea menor* (fig. 184). En este caso las diferencias estarán una encima y otra debajo de la línea de cero y la tolerancia toma el nombre de **bilateral.**

El que la tolerancia sea unilateral o bilateral puede tener mucha importancia. Véase como ejemplo un caso típico de *tolerancia unilateral por exceso:* se da en la distancia entre los ejes de dos ruedas dentadas; la distancia real entre los ejes ha de ser siempre mayor que la distancia nominal, para permitir el funcionamiento regular de las ruedas.

En todo caso, *teniendo en cuenta el signo + o — de las diferencias, la tolerancia es igual a la diferencia entre la diferencia superior y la inferior*. Evidentemente, con las convenciones adoptadas, **la tolerancia resulta siempre positiva:**

$$t = S_s - S_i$$

* En italiano, *scotamento* (S); en castellano, *diferencia* (D). *N. del T.*



Figs. II, 183-184. *Tolerancias de agujeros* (183) *y de ejes* (184). *La tolerancia de un agujero o de un eje puede ser* **unilateral** (fig. 183 *a, b,* y 184 *a, b*), *es decir, toda por debajo o toda por encima de la línea de cero; o* **bilateral** (fig. 183 *c* y 184 *c*), *es decir, parte por encima y parte por debajo de la línea de cero.*

Por ejemplo, una pieza de una medida nominal de 25 mm, para satisfacer a las condiciones exigidas, ha de tener una medida real comprendida entre 25,05 y 24,95 mm. En este caso, la tolerancia **t** será (fig. II. 185 *a*):

$$t = D_{máx} - D_{mín} = 25,05 - 24,95 = 0,10 \text{ mm}$$

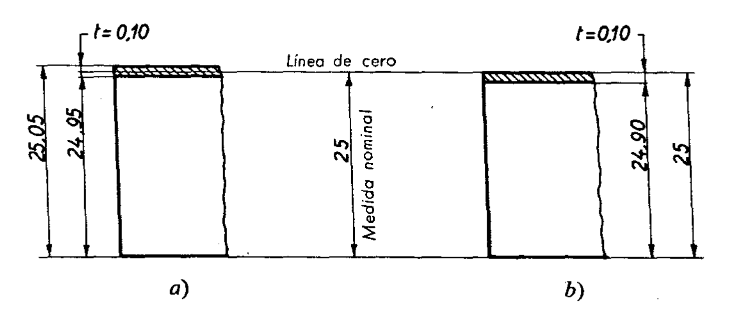


Fig. II, 185. *Ejemplo de tolerancias bilaterales* (*a*) *y unilaterales* (*b*). *En las tolerancias bilaterales, la tolerancia total está dividida y repartida parte por* encima *y parte por* debajo *de la línea de cero: por lo que las diferencias son una positiva y la otra negativa. En las tolerancias unilaterales, la tolerancia está* toda entera encima o toda entera debajo *de la línea de cero: por lo que las diferencias son ambas positivas o negativas. En el ejemplo* (*a*) *la tolerancia bilateral es simétrica porque está dispuesta* simétricamente, *respecto a la línea de cero: pero podría también ser* asimétrica. *En* (*b*) *la tolerancia está debajo de la línea de cero: lo que significa que la medida del eje no puede en ningún caso ser* mayor *que la medida nominal. Si la medida no pudiese ser* inferior *a la nominal, estaría toda la tolerancia encima de la línea de cero.*

Esta tolerancia, por estar parte encima y parte debajo de la medida nominal es una tolerancia bilateral.

La medida de la pieza puede indicarse de la siguiente forma:

$$\mathbf{D} = 25 \pm {}_{0,05} \text{ mm}$$

En cambio, si dicha pieza hubiese de tener la medida real comprendida entre 25 y 24,90 mm (fig. II, 185 *b*), la tolerancia **t** sería también igual a 0,10 mm, porque 25 — 24,90 = 0,10; pero la tolerancia sería, en este caso, unilateral, por estar toda debajo de la medida nominal. La cota o dimensión se indicaría en este caso de este modo:

$$\mathbf{D} = 25_{-0,10} \text{ mm}$$

30. Ajuste eje-agujero *

Las consideraciones que hemos expuesto hasta ahora tienen carácter general y se aplican igualmente a las medidas de una pieza aislada. Sin embargo, es evidente que este caso se presenta pocas veces (por ejemplo, en los pequeños mármoles de comprobación): en la mayoría de los casos el concepto de tolerancia tiene su plena aplicación en el caso de ajuste de dos piezas, en la fabricación en serie. Pasemos pues, conforme a lo explicado en el n.° 28, a considerar el caso del ajuste eje-agujero. Se comprende fácilmente que para pasar del caso de una pieza aislada al de un eje y el agujero a que debe ajustarse, se han de hacer nuevas consideraciones.

En la figura II, 177 se ha presentado en esquema el ajuste, no efectuado, de eje-agujero. Es evidente que las medidas nominales del eje y del agujero han de ser iguales. Sin embargo, *si el ajuste ha de satisfacer a determinadas condiciones de movilidad o de fijeza, es indispensable que las tolerancias del agujero y del eje estén precisadas de manera que garanticen el cumplimiento de las condiciones exigidas, para cualquier combinación de un eje y un agujero de la misma serie.*

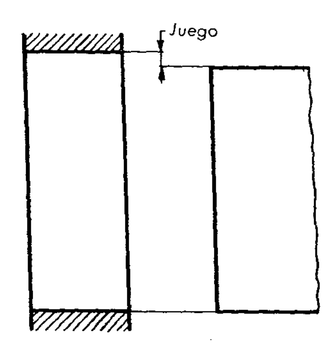


Fig. II, 186. *Cuando el diámetro de un agujero es mayor que el del eje correspondiente, en el ajuste hay un juego. El ajuste es* **holgado** *o* **móvil.**

* En España, el ajuste que los italianos designan árbol-agujero, se designa por eje-agujero. *N. del T.*

En líneas generales, *cuando la medida real de un agujero es mayor que la medida real del eje correspondiente, se dice que entre el eje y el agujero hay un* **juego,**** *originado por la diferencia de los diámetros del agujero y del eje* (fig. II, 186).

Teniendo en cuenta las diferencias de las tolerancias se ve en seguida que el juego real oscila entre un valor máximo y un valor mínimo. *Se tiene,* en efecto, *el* **valor máximo** *del juego cuando el agujero tiene el diámetro máximo y el eje el diámetro mínimo;* análogamente *se tiene el* **juego mínimo,** *cuando el agujero tiene el diámetro mínimo y el eje el diámetro máximo* (fig. II, 187).

$$\mathbf{J}_{máx} = \mathbf{D}_{máx\ agujero} - \mathbf{D}_{mín\ eje}$$

$$\mathbf{J}_{mín} = \mathbf{D}_{mín\ agujero} - \mathbf{D}_{máx\ eje}$$

En este caso, en el que cualquiera que sea la combinación de un eje y un agujero, **siempre** *hay un juego, el ajuste resulta siempre* **móvil.**

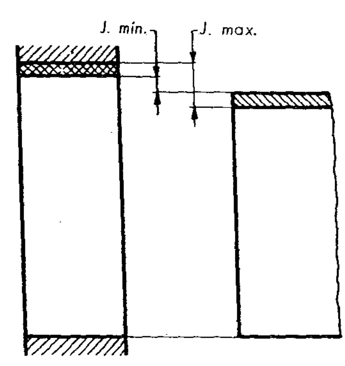


Fig. II, 187. *En relación con las diferencias de las medidas reales del agujero y del eje, debido a las correspondientes tolerancias, el juego real está comprendido entre un* **juego máximo** *y un* **juego mínimo.**

Se puede presentar el caso contrario. *El diámetro del agujero, antes de efectuar el ajuste, es menor que el del eje.* Se dice entonces que hay un **aprieto, A,***** *producido por la diferencia entre el diámetro real del eje y el del agujero* (fig. II, 188).

$$\mathbf{A} = \mathbf{D}_{eje} - \mathbf{D}_{agujero}$$

Análogamente a todo lo visto en el caso anterior, el aprieto oscila entre un valor máximo y un valor mínimo (fig. II, 189).

$$\mathbf{A}_{máx} = \mathbf{D}_{máx\ eje} - \mathbf{D}_{mín\ agujero}$$

$$\mathbf{A}_{mín} = \mathbf{D}_{mín\ eje} - \mathbf{D}_{máx\ agujero}$$

** En italiano, *giuoco* (G); en castellano, *juego* (J); en alemán (DIN), *Spiel* (S). *N. del T.*

*** En italiano, *interferenza* (I); en castellano, *aprieto* (A); en alemán (DIN), *Ubermass* (U). *N. del T.*

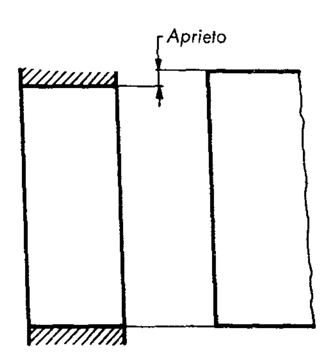


Fig. II, 188. *Cuando el diámetro del agujero, antes de efectuar el ajuste, es menor que el del eje correspondiente, en el ajuste hay un aprieto. El ajuste es* **prensado** *o* **fijo.**

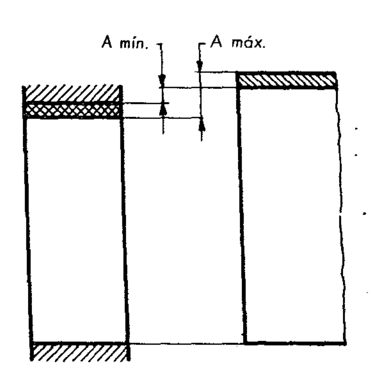


Fig. II, 189. *En relación con las diferencias de las medidas reales del agujero y del eje, debido a las correspondientes tolerancias, el aprieto real está comprendido entre un* **aprieto máximo** *y un* **aprieto mínimo.**

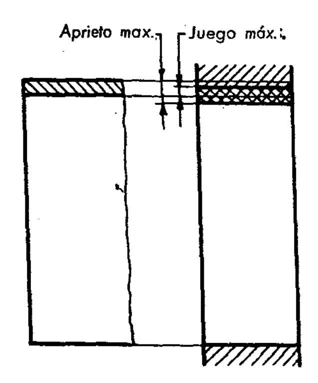


Fig. II, 190. *Entre los dos casos representados en la* figura II, 186 *(ajustes móviles en los que siempre hay un juego) y en la* figura II, 188 *(ajustes prensados en los que siempre hay un aprieto), está el caso intermedio, en el que, según sean las medidas reales del eje y del agujero, puede haber* un juego *o* un aprieto. *En este caso el ajuste es* **indeterminado.**

En este caso, en que *hay un aprieto para cualquier combinación de un eje y un agujero de la misma serie, el ajuste resulta siempre prensado,* o sea, fijo, y es preciso para efectuarlo el uso de la prensa o de otros procedimientos (calentamiento, enfriamiento, etcétera).

Entre los dos casos extremos de los ajustes móvil y fijo, está el caso de los **ajustes indeterminados,** que son aquellos que, según sean los valores de las medidas reales del eje y del agujero resultantes de la combinación casual de los dos elementos del ajuste, pueden resultar móviles o fijos.

Tanto en el caso de los ajustes fijos como en el de los móviles, *los campos de las tolerancias del eje y del agujero están enteramente separados* en la representación esquemática. Por el contrario, *en el caso de los* **ajustes indeterminados,** *el campo de la tolerancia del eje y el del agujero están* **parcialmente superpuestos,** *y esta superposición es precisamente la que da lugar a la indeterminación del ajuste* (fig. II, 190), pudiéndose tener un ajuste fijo o móvil, según sean las medidas reales de un eje o de un agujero, tomados *al azar* entre los de una misma serie, fabricada con la tolerancia establecida.

Examinando la figura 190 se ve en seguida que, mientras que en los ajustes fijos hay siempre un aprieto y en los móviles un juego, en los ajustes indeterminados se pueden tener juegos o aprietos, según sean las medidas reales de las piezas ajustadas. El aprieto máximo se tendrá cuando el eje tenga el máximo diámetro y el agujero el mínimo admisibles: en cambio se tendrá el juego máximo cuando el agujero tenga el máximo diámetro y el eje el mínimo. Del aprieto se puede pasar al juego si no hay un valor mínimo ni para el aprieto ni para el juego.

31. Calidad de la fabricación

De lo expuesto anteriormente resulta que la fabricación es tanto más exacta cuanto más pequeña es la tolerancia relativa. Al planear una fabricación, lo primero, pues, que ha de hacer la oficina técnica es determinar la **calidad de la fabricación,** o sea, la amplitud de las tolerancias de las piezas que se han de ajustar entre sí, basándose en la función específica de cada acoplamiento. La elección de una tolerancia demasiado amplia produce necesariamente mecanismos de escasa o escasísima precisión; la elección de una tolerancia demasiado estricta origina mecanismos de gran precisión, pero de coste inadmisible. Se debe, en efecto, tener presente que para reducir a la mitad la tolerancia admitida para una pieza, su coste de fabricación no se duplicaría, sino que podría multiplicarse por diez, por cien y aun por mil, según la precisión lograda. Por consiguiente, *en toda orden de fabricación se ha de señalar la exactitud necesaria para que el acoplamiento pueda cumplir con suficiente perfección la función que le corresponda, pero no con precisión mayor que la necesaria.*

32. El sistema ISA - Definiciones

Es evidente que para una buena y racional organización de la producción, la selección de las calidades posibles de fabricación, o sea, la amplitud de las tolerancias, no puede ser arbitraria, sino contenida en unas normas precisas y adoptadas por toda la industria mecánica, constituyendo un **sistema de tolerancias.**

Es también evidente que se podrían idear diferentes tipos de sistemas de tolerancias, que respondiesen más o menos a los conceptos anteriormente expuestos, satisfaciendo las exigencias de la producción.

En Italia, hasta hace unos veinte años, se usaba exclusivamente el sistema de tolerancias **UNIM** (derivado del sistema alemán **DIN**), el cual establecía solamente **4** grados distintos de mecanizado, denominados respectivamente: *extra-preciso, preciso, medio* y *basto.*

En el año 1940, en vista de la insuficiencia del sistema UNIM en algunos campos y, por otra parte, en vista de la necesidad de que la industria italiana se adaptase al sistema internacional de tolerancias **ISA,** se introdujo por el UNI, mediante numerosas tablas que empiezan en la n.° 1088, el **sistema de tolerancias ISA.**

En lugar de los únicos cuatro grados de ajuste del sistema UNIM, el sistema **ISA** distingue **16** diferentes calidades de fabricación, indicadas con los símbolos **IT1, IT2, IT3,** etc., que corresponden escalonadamente desde las calidades más finas a las más bastas.

Para la fabricación mecánica de piezas acopladas sólo se usan las calidades del **5 al 11**; los números del **1** al **4** se reservan para fabricaciones especiales de altísima precisión (calibres, mármoles de comprobación, etc.); los números del **12 al 16**, en cambio, se usan sólo para fabricación basta de piezas sueltas.

El valor de las tolerancias para cada calidad se ha determinado según los criterios generales que siguen:

a) *Cada calidad tiene una tolerancia 60 % mayor (aproximadamente) que la de la cifra inmediata inferior;*

b) *A igualdad de calidad, la tolerancia ha de ser mayor para una pieza de mayor tamaño, pero no proporcional.* Efectivamente, si para un pequeño árbol de 3 mm se considera suficiente una tolerancia de 1/100 de mm para una máquina determinada, para un árbol de 120 mm de la misma máquina, o sea, de un diámetro 40 veces mayor, sería tan absurdo exigir la misma tolerancia de 1/100 mm como admitir una tolerancia 40 veces mayor, con la que se llegaría a una tolerancia de 4 décimas de mm, indicio seguro de un trabajo muy deficiente.

Las tolerancias de las diferentes calidades se han establecido, pues, basándose en una **unidad de tolerancia i,** especial, dada por la fórmula:

$$\mathbf{i = 0{,}45 \sqrt[3]{D} + 0{,}001\ D}$$

Poniendo en esta fórmula el diámetro en mm, la unidad de tolerancia resulta expresada en micras (μ), o sea, en milésimas de milímetro.

c) Para las calidades del **5** al **16**, la tolerancia está calculada, con los debidos redondeos, según los múltiplos de la unidad de tolerancia indicados en la siguiente tabla 10:

Tabla 10

Tolerancias de las calidades 5-16 del sistema **ISA**												
Calidades	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Tolerancia	7 i	10 i	16 i	25 i	40 i	64 i	100 i	160 i	250 i	400 i	640 i	1000 i

Como ya se ha indicado, al pasar de una calidad a la siguiente, hay aproximadamente un 60 % de aumento de la tolerancia.

Ya se ha dicho que las unidades de tolerancia son funciones de la medida nominal; para el cálculo de estas unidades, los diámetros, o sea (por extensión), las medidas nominales, se han subdividido en grupos, limitados a los valores indicados a continuación:

1 - 3 - 6 - 10 - 18 - 30 - 50 - 80 - 120 - 189 - 250 315 - 400 - 500 mm.

En caso necesario, la serie de valores que limitan los diferentes grupos pueden aumentarse, completándola con la interpolación de otros valores:

1 - 3 - 6 - 10 - 14 - 18 - 24 - 30 - 40 - 50 - 65 - 80 100 - 120 - 140 - 160 - 180 - 200 - 225 - 250 - 280 315 - 355 - 400 - 450 - 500 mm.

La tolerancia tiene **un** valor **único** para cualquier medida incluida en **un** grupo de medidas, y varía por lo tanto solamente **de** un grupo a otro.

Todas las consideraciones anteriores tienen prácticamente un valor exclusivamente teórico, por cuanto para cada grupo de medidas y para cada calidad, las tolerancias redondeadas están ya calculadas, de una vez para siempre, y expuestas en la correspondiente tabla (tabla 11).

Tabla 11

Valores en μ de las tolerancias fundamentales para las calidades de 1 a 16 para los diferentes grupos de medidas																
Grupos de medidas mm	C A L I D A D E S															
	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16
de 1 a 3	1.5	2	3	4	5	7	9	14	25	40	60	90	140	250	400	600
más de 3 a 6	1.5	2	3	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
más de 6 a 10	1.5	2	3	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
más de 10 a 18	1.5	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100
más de 18 a 30	1.5	2	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
más de 30 a 50	2	3	4	4	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600
más de 50 a 80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900
más de 80 a 120	3	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
más de 120 a 180	4	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
más de 180 a 250	5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900
más de 250 a 315	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
más de 315 a 400	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600
más de 400 a 500	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000

33. Posiciones de las tolerancias. Diferencias

Volvamos ahora sobre las consideraciones y las definiciones expuestas en los números 29 y 30.

Una vez que se ha determinado la medida nominal de un ajuste y la calidad de la fabricación de sus partes, o sea, las tolerancias correspondientes, es evidente, teniendo presente la figura II, 191, que para que se cumplan *las condiciones de ajuste exigidas, basta escoger oportunamente la* **posición** *de las tolerancias respecto a la línea de cero;* para lo cual son de gran utilidad las **diferencias** explicadas en el n.° 29.

Efectivamente, si la tolerancia del agujero está enteramente sobre la línea de cero y la del eje debajo de dicha línea *(a)*, se tiene forzosamente un ajuste *móvil*. Si la tolerancia del agujero está enteramente debajo de la línea de cero y la del eje encima de dicha línea *(c)*, se tiene ciertamente un ajuste *prensado* o fijo. En el caso intermedio *(b)* se tiene el ajuste *indeterminado*.

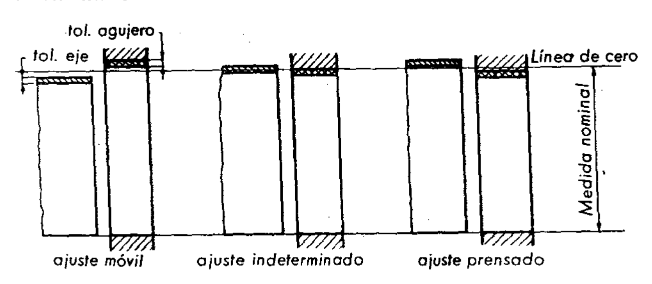


Fig. II, 191. *Aquí se representan esquemáticamente los tres casos posibles de ajuste* **móvil, indeterminado** *y* **prensado.**

En consecuencia, un ajuste, desde el punto de vista técnico-constructivo, queda perfectamente determinade conociendo dos elementos, tanto para el agujero como para el eje:

a) *tolerancia del agujero y del eje;*

b) *posición de estas tolerancias respecto a la línea de cero.*

Puesto que las tolerancias se pueden representar esquemáticamente mediante rectángulos colocados paralelamente a la línea de cero como ya se ha visto en la figura II, 182, el modo más sencillo de *fijar la posición de cada uno de estos rectángulos respecto a la línea de cero es el de adoptar una de las diferencias como* **diferencia de referencia.** Es evidente que cuando se conoce la tolerancia, la posición de esta tolerancia podría determinarse escogiendo como diferencia de referencia tanto la diferencia superior como la inferior. Pronto se verá que en el sistema **ISA** se señalan las diferencias que se han de adoptar como de referencia; son, precisamente, las más próximas a la línea de cero.

Expuestos estos conceptos generales sobre ajustes, se puede pasar a algunas consideraciones particulares.

34. Tipos de ajustes

En el antiguo sistema **UNIM,** para los cuatro grados de mecanizado indicados anteriormente, se habían previsto los tipos de ajuste abajo indicados, con sus denominaciones y siglas (tabla 12).

El sistema **ISA,** por el contrario, no define tipos

Tabla 12

Ajustes **UNIM**							
Extra-preciso (5 ajustes)		Preciso (10 ajustes)		Medio (3 ajustes)		Basto (4 ajustes)	
ajustes	sigla	ajustes	sigla	ajustes	sigla		
—	—	Forzado a presión	**pBP**	—	—	—	—
Forzado fuerte	**eBS**	Forzado fuerte	**pBS**	—	—	—	—
Forzado normal	**eBN**	Forzado normal	**pBN**	—	—	—	—
Forzado ligero	**eBL**	Forzado ligero	**pBL**	—	—	—	—
Forzado de empuje	**eSP**	Forzado de empuje	**pSP**	—	—	—	—
De deslizamiento	**eSC**	De deslizamiento	**pSC**	De deslizamiento	**mSC**	De deslizamiento	**gSC**
—	—	**De juego libre muy justo**	**pLS**	—	—	—	—
—	—	De juego libre normal	**pLN**	De juego libre normal	**mLN**	De juego libre normal	**gLM**
—	—	De juego libre ligero	**pLL**	—	—	De juego libre ligero	**gLL**
—	—	**De juego libre muy amplio**	**pLA**	**De juego libre muy amplio**	**mLA**	**De juego libre muy amplio**	**gLA**

especiales de ajuste. Establece **21** posiciones para las tolerancias de los agujeros y otras tantas para las de los ejes. Escogiendo oportunamente las posiciones para el agujero y para el eje, se pueden realizar, como ya se ha dicho varias veces, cualquier tipo de ajuste que se desee; y evidentemente son numerosísimas las combinaciones que se pueden realizar.

Las diversas posiciones se caracterizan con letras del alfabeto, mayúsculas para los agujeros y minúsculas para los ejes.

Cada posición está determinada por una diferencia, que por este motivo se llama **diferencia de referencia.**

Las posiciones de las tolerancias se han indicado esquemáticamente en las figuras II, 192-193, respectivamente para los agujeros y para los ejes. Los ejes *de las mismas medidas, de la misma calidad* (por ejemplo, **ISA**) *y diferentes posiciones tienen la misma tolerancia, pero distintas diferencias* (fig. II, 194).

La letra **h** (para los ejes) *indica la posición para la cual la diferencia superior coincide con la línea de cero; la letra* **H** (para los agujeros) *indica la posición*

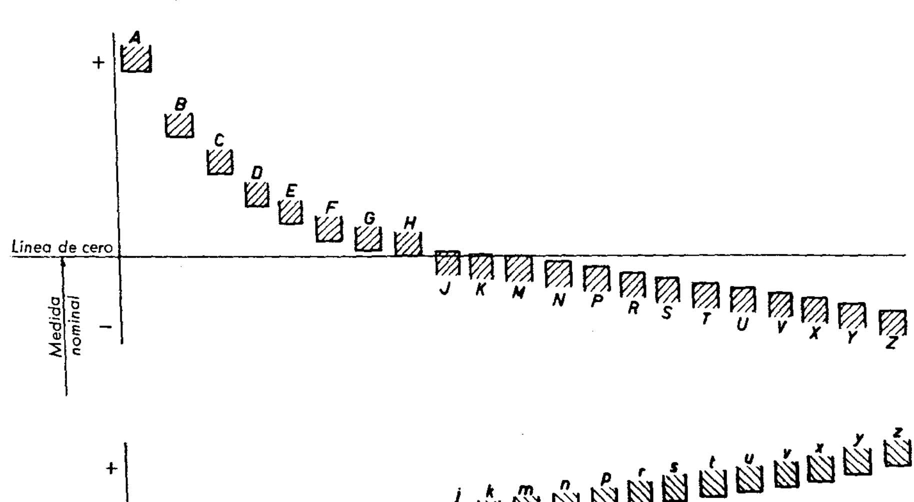


Fig. II, 192. *Posición esquemáti-ca de las zonas toleradas para agujeros en el sistema ISA.*

Fig. II, 193. *Posición esquemáti-ca de las zonas toleradas para ejes en el sistema ISA.*

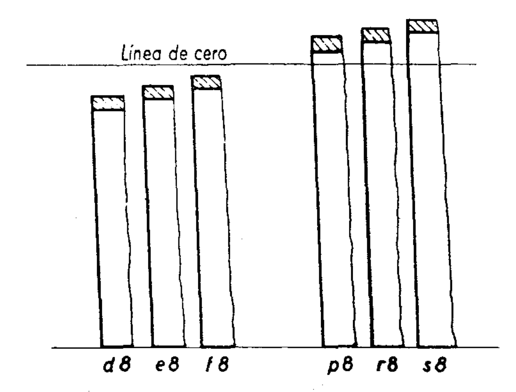


Fig. II, 194. *Ejes de la misma medida y* de la misma calidad, *con diferente posición, tienen la misma tolerancia, pero diferencias distintas.*

para la cual la diferencia inferior coincide con la línea de cero.

Para los ejes de **a** *a* **h** (inclusive), *la diferencia de referencia es la* **superior;** *para los de* **j** *en adelante la diferencia de referencia es la* **inferior.**

Por el contrario, *para los agujeros de* **A** *a* **H**, *la diferencia de referencia es la* **inferior;** *de* **J** *en adelante se toma como diferencia de referencia la* **superior.**

Sobre los valores de la diferencia de referencia son muy diferentes los criterios según se trate de determinarlos para los ejes o los agujeros. *En cuanto a los ejes,* **para cualquier calidad,** *la diferencia de referencia, que determina cada posición es* **independiente de la calidad.** Por consiguiente, como ejemplo, la posición para las calidades 6, 7, 8, etc., tiene el mismo valor de diferencia de referencia (fig. II, 195). *En cambio, para los agujeros, este criterio sólo es válido para las posiciones de A a H.*

En la tabla 13 están transcritos los valores de las diferencias de referencia para ejes de **a** a **h** y para agujeros de **A** a **H**; estos valores se han redondeado y han servido de base para establecer las tablas **UNI**

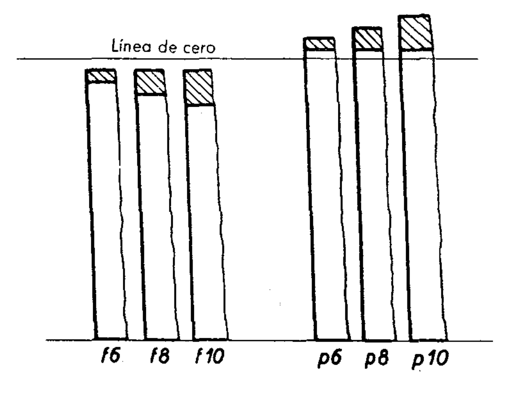


Fig. II, 195. *Ejes de la misma posición y medida y de diferente calidad, tienen la misma diferencia de referencia.*

sobre el sistema **ISA**, de las cuales se tratará en número próximo. Las diferencias están expresadas en micras (μ) y se han de considerar positivas para los agujeros y negativas para los ejes (según lo convenido anteriormente, es decir, los valores positivos se toman sobre la línea de cero y los negativos debajo).

35. Designación de ejes, agujeros y ajustes

Para la designación de un eje o de un agujero, se usa la letra correspondiente a su posición, seguida del número que indica su calidad; por ejemplo: **h7; g9; F5; H9.**

A continuación damos un índice de las tablas **UNI**, que indican los valores de las diferencias para las diferentes calidades y posiciones, para cada grupo de medidas.

Tablas 1099-1100. Contienen las diferencias para ejes. (Es un esquema correspondiente al grupo de dimensiones superiores a la zona de 24 a 30 mm.)

Tab. 1101 - Diferencias para ejes de la calidad **5**
Tab. 1102 - Diferencias para ejes de la calidad **6**
Tab. 1103 - Diferencias para ejes de la calidad **7**
Tab. 1104 - Diferencias para ejes de la calidad **8**
Tab. 1105 - Diferencias para ejes de la calidad **9**
Tab. 1106 - Diferencias para ejes de la calidad **10**
Tab. 1107 - Diferencias para ejes de la calidad **11**

Tab. 1108-1109 - Contienen las diferencias para agujeros.

(Es un esquema correspondiente al grupo de medidas superiores a la zona de 24 a 30 mm.)

Tab. 1110 - Diferencias para agujeros de la calidad **6**
Tab. 1111 - Diferencias para agujeros de la calidad **7**
Tab. 1112 - Diferencias para agujeros de la calidad **8**
Tab. 1113 - Diferencias para agujeros de la calidad **9**
Tab. 1114 - Diferencias para agujeros de la calidad **10**
Tab. 1115 - Diferencias para agujeros de la calidad **11**

No se transcriben estas tablas porque lo que de las mismas pueda interesar al dibujante está contenido en las tablas sobre la selección de ajustes que se transcribirán seguidamente.

Para designar un ajuste se nombra primero la abreviatura del agujero y luego la del eje; por ejemplo, **H7-g6; H8-j7**, etcétera.

36. Sistemas de fabricación eje único o agujero único

Como ya se ha dicho repetidas veces, puede lograrse fácilmente un ajuste determinado escogiendo convenientemente la posición tanto del agujero como del eje.

Tabla 13

Valores de las diferencias de referencia para posiciones de **a** a **h** y de **A** a **H**								
Grupos de medidas mm	POSICIÓN							
	a A	b B	c C	d D	e E	f F	g G	h H
de **1** a **3**	270	140	60	20	14	7	3	0
más de **3** a **6**	270	140	70	30	20	10	4	0
más de **6** a **10**	280	150	80	40	25	13	5	0
más de **10** a **18**	290	150	95	50	32	16	6	0
más de **18** a **30**	300	160	110	65	40	20	7	0
más de **30** a **40**	310	170	120	80	50	25	9	0
más de **40** a **50**	320	180	130	80	50	25	9	0
más de **50** a **65**	340	190	140	100	60	30	10	0
más de **65** a **80**	360	200	150	100	60	30	10	0
más de **80** a **100**	380	220	170	120	72	36	12	0
más de **100** a **120**	410	240	180	120	72	36	12	0
más de **120** a **140**	460	260	200	145	85	43	14	0
más de **140** a **160**	520	280	210	145	85	43	14	0
más de **160** a **180**	580	310	230	145	85	43	14	0
más de **180** a **200**	660	340	240	170	100	50	15	0
más de **200** a **225**	740	380	260	170	100	50	15	0
más de **225** a **250**	820	420	280	170	100	50	15	0
más de **250** a **280**	920	480	300	190	110	56	17	0
más de **280** a **315**	1050	540	330	190	110	56	17	0
más de **315** a **355**	1200	600	360	210	125	62	18	0
más de **355** a **400**	1350	680	400	210	125	62	18	0
más de **400** a **450**	1500	760	440	230	135	68	20	0
más de **450** a **500**	1650	840	480	230	135	68	20	0

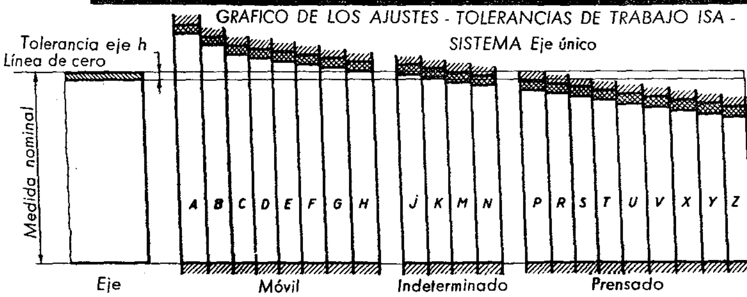


Fig. II, 196. *Esquema de los ajustes ISA, sistema* **eje único.**

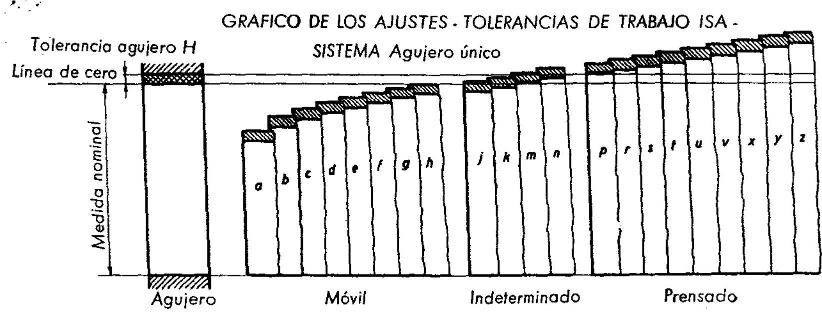


Fig. II, 197. *Esquema de los ajustes ISA, sistema* **agujero único.**

Pero en la práctica resulta mucho más cómodo y económico escoger uno de los dos métodos siguientes:

a) *Mantener la tolerancia del eje en la posición* **h**, *cualquiera que sea la condición que deba satisfacer el ajuste y escoger cada vez la posición del agujero, de modo que se cumplan las condiciones del ajuste.*

En este caso la abreviatura del ajuste contendrá siempre el símbolo **h**, por ejemplo, **G8-h7, N8-h6,** etc.

Cuando se sigue este método, se dice que se emplea el sistema **eje único**. En la figura II, 196 se representa de modo esquemático el sistema de eje único.

b) *Mantener la tolerancia del agujero en la posición* **H** *para cualquier condición de ajuste y escoger cada vez la posición del eje, de modo que se cumpla la condición de ajuste exigida.* En este sistema, por lo tanto, llamado sistema **agujero único,** aparecerá siempre el símbolo **H** en la abreviatura del ajuste. Ejemplo: **H7-g6; H8-m7,** etcétera.

El sistema agujero único se representa esquemáticamente en la figura II, 197.

37. Ajustes recomendados

En el sistema **ISA** no se establece ninguna clase de ajustes especiales, como se había hecho en el antiguo sistema **UNIM** (n.° 33); pero en una serie de tablas sobre ajustes, en el sistema **ISA** se recomiendan 67 ajustes para el sistema eje único y 61 ajustes para el sistema agujero único. En la tabla que sigue se indican los símbolos de los ajustes recomendados (véase tabla 14).

Cuando el eje o el agujero tiene una posición entre **R** *y* **Z**, *el ajuste es* **prensado.**

Las tablas **UNI** *correspondientes a los ajustes recomendados son las siguientes:*

1116-1117 - Características de los ajustes recomendados **ISA**, sistema agujero único.
1127-1128 - Características de los ajustes recomendados **ISA**, sistema eje único.
1118-1119 - Diferencias y juegos para los ajustes recomendados **ISA** agujero único **H6.**

Tabla 14

Características de los ajustes recomendados del sistema **ISA**

	SISTEMA EJE ÚNICO — AGUJEROS						SISTEMA AGUJERO ÚNICO — EJES			
	EJES						AGUJEROS			
	h 5	h 6	h 7	h 8	h 9	h 11	h 6	h 7	h 8	h 11
Ajustes móviles	—	A 9	A 9	A 9	—	A 11	—	a 9	—	a 11
	—	B 9; B 8	B 9; B 8	B 9; B 8	—	B 11	—	b 9; b 8	—	b 11
	—	C 9; C 8	C 9; C 8	C 9; C 8	—	C 11	—	c 9; c 8	—	c 11
	—	D 9; D 8	—	D 10	D 10	D 11	—	d 9; d 8	d 10	d 11
	E 7	E 8	—	E 9	E 9	—	e 7	e 8	e 9	—
	F 6	F 7	—	F 8	F 8	—	f 6	f 7	f 8	—
	G 6	G 7	—	—	—	—	g 5	g 6	—	—
	H 6	H 7	H 8	H 8	H 8	H 11	h 5	h 6	h 8; h 7	h 11
Ajustes indeterminados	J 6	J 7	J 8	—	—	—	j 5	j 6	j 7	—
	K 6	K 7	K 8	—	—	—	k 5	k 6	k 7	—
	M 6	M 7	M 8	—	—	—	m 5	m 6	m 7	—
	N 6	N 7	N 8	—	—	—	n 5	n 6	n 7	—
	P 6	—	—	—	—	—	p 5	p 6	p 7	—
Ajustes prensados	R 6	R 7	—	—	—	—	r 5	r 6	r 7	—
	S 6	S 7	—	—	—	—	s 5	s 6	s 7	—
	T 6	—	—	—	—	—	t 5	—	t 7	—
	U 6	U 7	—	—	—	—	u 5	u 6	u 7	—
	V 6*°	V 7*°	—	—	—	—	v 5*°	v 6*°	v 7*°	—
	X 6*°	X 7*	—	—	—	—	x 5*	x 6*	x 7*	—
	—	Y *°	—	—	—	—	—	y 6*°	y 7*°	—
	—	Z*	—	—	—	—	—	z 6*	z 7*	—

Los ajustes señalados con * los da el sistema **ISA** a título experimental: los ajustes señalados con ° se han de evitar en lo posible.

Como regla mnemotécnica de gran sencillez para reconocer la clase de ajuste, *tanto en el sistema agujero único, como en el sistema eje único,* se ha de recordar que:

Cuando el eje o el agujero, ajustado al elemento correspondiente **H** *o* **h** *tiene una cualquiera de las posiciones posibles de* **a** *a* **h** *o de* **A** *a* **H**, *el ajuste es* **móvil.**

Cuando el eje o el agujero tiene una posición entre **J** *y* **P**, *el ajuste es* **indeterminado.**

1120-1122 - Ídem para el agujero único **H7.**
1123-1125 - Ídem para el agujero único **H8.**
1126 - Ídem para el agujero único **H11.**
1129-1130 - Diferencias y juegos para los ajustes recomendados **ISA** eje único **h5.**
1131-1133 - Ídem para el eje único **h6.**
1134-1135 - Ídem para el eje único **h7.**
1136-1137 - Ídem para el eje único **h8.**
1138 - Ídem para el eje único **h9.**
1139 - Ídem para el eje único **h11.**

38. Selecciones de ajustes

La mayor parte de las empresas de gran importancia han hecho una nueva selección entre los ajustes recomendados **ISA,** limitada a los que consideran suficientes para todas las exigencias.

En realidad, es evidente que donde se exige mayor exactitud es en los ajustes de deslizamiento, porque tanto para los prensados como para los móviles con juego muy holgado, la calidad de la fabricación no tiene tanta importancia: y por tanto muchos ajustes que en las últimas condiciones especificadas exigirían inútilmente acabados con tolerancias muy restringidas y por lo mismo muy costosos, pueden suprimirse de la lista de los de uso aconsejable, sustituyéndose por otros más recomendables desde el punto de vista económico.

En las páginas que siguen se reproducen algunas tablas sacadas en su mayor parte de las recopiladas por la firma Fratelli Borletti, en las que para todos los ajustes necesarios se hallarán las diferencias, mediante las cuales se pueden calcular rápidamente los aprietos o los juegos. Dichas tablas indican asimismo la correspondencia *aproximada* entre cada ajuste **ISA** y el del antiguo sistema **UNIM** (tablas 15-18).

Se ha de advertir, sin embargo; que en general una buena correspondencia entre el sistema **UNIM** y el sistema **ISA** solamente se puede admitir para los grados:

extrapreciso: corresponde a **ISA 5** para los ejes e **ISA 6** para los agujeros;

preciso: corresponde en buena parte a **ISA 6** para los ejes e **ISA 7** para los agujeros;

basto: corresponde a **ISA 11.**

El grado *medio* no tiene buena correspondencia en el sistema **ISA.**

39. Consideraciones prácticas sobre la selección y uso de los ajustes

La selección de los ajustes más convenientes y más aún, la del sistema de tolerancias agujero único o eje único se confía siempre a personas de gran competencia en la materia y teniendo en cuenta muchos factores, entre los cuales son de máxima importancia el equipo del taller, los criterios económicos, las exigencias de la producción, etcétera.

Ya se habrá observado al examinar los cuadros de los ajustes recomendados, que para los ejes se ha previsto, como norma, una calidad inferior en una unidad a la de los agujeros (inferior como número indicativo de la calidad, es decir, de amplitud de tolerancia y por consiguiente superior como exactitud de acabado). Esto es debido al hecho de que es mucho más fácil rectificar los ejes que los agujeros.

En relación con esta última consideración, se podría suponer que el sistema eje único es el que prevalece incuestionablemente en la industria. Pero sucede todo lo contrario; en las industrias que exigen mecanizados de gran precisión, como la automovilística, aeronáutica, ferroviaria, de máquinas herramientas, motores de combustión interna, bombas, compresores, etc., se da preferencia al sistema agujero único, ya sea porque el control de los agujeros se hace con calibres cilíndricos o machos, de fabricación más fácil que los calibres de herradura; ya sea porque, como ya se ha explicado claramente con anterioridad, la posición de las tolerancias de los agujeros depende sólo de la calidad y de las medidas nominales, lo que no ocurre con los ejes.

Se emplea en cambio el sistema eje único en las construcciones mecánicas de menos precisión, como máquinas agrícolas, textiles, aparatos de elevación, árboles y soportes, etc.

Sin embargo, se ha de tener presente que estas indicaciones no tienen un carácter general, pues hay industrias mecánicas de precisión que emplean el sistema eje único y viceversa.

Tampoco se excluye la posibilidad de un empleo mixto de ambos sistemas, es decir, el sistema eje único para ciertos ajustes y el sistema agujero único para otros, y no solamente en la misma fábrica, sino aun en la misma máquina, cuando de ello se deriven evidentes ventajas económicas o de producción o de aprovechamiento de los instrumentos ya existentes (como, por ejemplo, toda la serie de calibres), etc.

Aunque la temperatura de referencia del sistema **ISA** sea de 20° C, no se ha de prescindir, para la determinación de los juegos o de los aprietos, de las condiciones de temperatura a que haya de funcionar cada ajuste, especialmente cuando las partes que se han de ajustar están fabricadas con materiales de naturaleza diferente y por lo mismo con diferentes coeficientes de dilatación; en tales casos la temperatura puede también influir de modo sustancial en las características del ajuste.

En las tablas que siguen se indican, a título informativo, los campos de aplicación de los ajustes más corrientes agujero único y eje único, y se presentan asimismo numerosos ejemplos de aplicación, para el caso agujero único (tablas 19-20).

40. Montaje de los ajustes prensados

Se llama la atención sobre el hecho de que para facilitar el montaje de los ajustes prensados y evitar tensiones excesivas a los materiales durante el montaje, conviene calentar el agujero a una temperatura muy superior a la del eje. La dilatación del agujero facilita el montaje; una vez enfriado, disminuye el diámetro del agujero y el aprieto resulta más fuerte.

Es muy raro el caso de tener que indicar en el dibujo la diferencia de temperatura entre agujero y eje. Pero si fuese necesario, se pueden consultar las diferencias de temperaturas indicadas en la tabla que

Sistema de tolerancias **ISA**

Cuadro de una selección de ajustes recomendados. Sistema eje único

Ejes h5 y h6 (De una publicación de la firma Fratelli Borletti)

Gráfico demostrativo de las diferencias y posiciones de las tolerancias para diámetros de 18 a 30 mm. Valores en μ = 1/1000 mm

eje — agujero

(Gráfico: columnas h5, N6, M6, K6, J6, H6, G6, h6, S7, R7, N7, M7, K7, J7, H7, G7, F7, E8, D9; escala μ 140, 120, 100, 80, 60, 40, 20, 0, −20, −40)

Grupos de medidas mm	EJE h5	AGUJERO N6	M6	K6	J6	H6	G6	EJE h6	AGUJERO S7	R7	N7	M7	K7	J7	H7	G7	F7	E8	D9
1 a 3	0 / −5	−4 / −11	−0 / −7	— / —	+3 / −4	+7 / 0	+10 / +3	0 / −7	−13 / −22	−10 / −19	−4 / −13	0 / −9	— / —	+3 / −6	+9 / 0	+12 / +3	+16 / +7	+28 / +14	+45 / +20
más de 3 a 6	0 / −5	−5 / −13	−1 / −9	— / —	+4 / −4	+8 / 0	+12 / +4	0 / −8	−15 / −27	−11 / −23	−4 / −16	0 / −12	— / —	+5 / −7	+12 / 0	+16 / +4	+22 / +10	+38 / +20	+60 / +30
más de 6 a 10	0 / −6	−7 / −16	−3 / −12	+2 / −7	+5 / −4	+9 / 0	+14 / +5	0 / −9	−17 / −32	−13 / −28	−4 / −19	0 / −15	+5 / −10	+8 / −7	+15 / 0	+20 / +5	+28 / +13	+47 / +25	+76 / +40
más de 10 a 18	0 / −8	−9 / −20	−4 / −15	+2 / −9	+6 / −5	+11 / 0	+17 / +6	0 / −11	−21 / −39	−16 / −34	−5 / −23	0 / −18	+6 / −12	+10 / −8	+18 / 0	+24 / +6	+34 / +16	+59 / +32	+93 / +50
más de 18 a 30	0 / −9	−11 / −24	−4 / −17	+2 / −11	+8 / −5	+13 / 0	+20 / +7	0 / −13	−27 / −48	−20 / −41	−7 / −28	−0 / −21	+6 / −15	+12 / −9	+21 / 0	+28 / +7	+41 / +20	+73 / +40	+117 / +65
más de 30 a 40; más de 40 a 50	0 / −11	−12 / −28	−4 / −20	+3 / −13	+10 / −6	+16 / 0	+25 / +9	0 / −16	−34 / −59	−25 / −50	−8 / −33	0 / −25	+7 / −18	+14 / −11	+25 / 0	+34 / +9	+50 / +25	+89 / +50	+142 / +80
más de 50 a 65	0 / −13	−14 / −33	−5 / −24	+4 / −15	+13 / −6	+19 / 0	+29 / +10	0 / −19	−42 / −72	−30 / −60	−9 / −39	0 / −30	+9 / −21	+18 / −12	+30 / 0	+40 / +10	+60 / +30	+106 / +60	+174 / +100
más de 65 a 80									−48 / −78	−32 / −62									
más de 80 a 100	0 / −15	−16 / −38	−6 / −28	+4 / −18	+16 / −6	+22 / 0	+34 / +12	0 / −22	−58 / −93	−38 / −73	−10 / −45	0 / −35	+10 / −25	+22 / −13	+35 / 0	+47 / +12	+71 / +36	+126 / +72	+207 / +120
más de 100 a 120									−66 / −101	−41 / −76									
más de 120 a 140	0 / −18	−20 / −45	−8 / −33	+4 / −21	+18 / −7	+25 / 0	+39 / +14	0 / −25	−77 / −117	−48 / −88	−12 / −52	0 / −40	+12 / −28	+26 / −14	+40 / 0	+54 / +14	+83 / +43	+148 / +85	+245 / +145
más de 140 a 160									−85 / −125	−50 / −90									
más de 160 a 180									−93 / −133	−53 / −93									
más de 180 a 200	0 / −20	−22 / −51	−8 / −37	+5 / −24	+22 / −7	+29 / 0	+44 / +15	0 / −29	−105 / −151	−60 / −106	−14 / −60	0 / −46	+13 / −33	+30 / −16	+46 / 0	+61 / +15	+96 / +50	+172 / +100	+285 / +170
más de 200 a 225									−113 / −159	−63 / −109									
más de 225 a 250									−123 / −169	−67 / −113									
más de 250 a 260	0 / −23	−25 / −57	−9 / −41	+5 / −27	+25 / −7	+32 / 0	+49 / +17	0 / −32	−138 / −190	−74 / −126	−14 / −66	0 / −52	+16 / −36	+36 / −16	+52 / 0	+69 / +17	+108 / +56	+191 / +110	+320 / +190
más de 260 a 280		−25 / −57	−9 / −41							−74 / −126	−14 / −66	0 / −52	+16 / −36				+108 / +56	+191 / +110	
más de 280 a 315									−150 / −202	−78 / −130									
más de 315 a 355	0 / −25	−26 / −62	−10 / −46	+7 / −29	+29 / −7	+36 / 0	+54 / +18	0 / −36	−169 / −226	−87 / −144	−16 / −73	0 / −57	+17 / −40	+39 / −18	+57 / 0	+75 / +18	+119 / +62	+214 / +125	+350 / +210
más de 355 a 360									−187 / −244	−93 / −150									
más de 360 a 400	0 / −25	−26 / −62	−10 / −46	+7 / −29			+54 / +18	0 / −36		−93 / −150	−16 / −73	0 / −57	+17 / −40				+119 / +62	+214 / +125	
más de 400 a 450	0 / −27	−27 / −67	−10 / −50	+8 / −32	+33 / −7	+40 / 0	+60 / +20	0 / −40	−209 / −272	−103 / −166	−17 / −80	0 / −63	+18 / −45	+43 / −20	+63 / 0	+83 / +20	+131 / +68	+232 / +135	+385 / +230
más de 450 a 500									−229 / −292	−109 / −172									
Tipo de ajuste		INDETERMINADO				MÓVIL			PRENSADO		INDETERMINADO				MÓVIL				
N.º de tabla UNI	1101	1110						1102	1111									1112	1113
Ajuste UNIM corresp.	eF=eSC	pBS	pBN	pBL	pSP	pSC=pA		pF=pSC	pBp		pBS	pBN	pBL	pSP	pSC=pA	pLS	pLN	pLL	pLA
N.º de Tabla	32								33										

La correspondencia entre los ajustes ISA y UNIM se entiende sólo en sentido muy lato. (Para la sustitución ISA-UNIM y UNIM-ISA de los calibres, véanse tablas UNI 1530-1535.)

Sistema de tolerancias **ISA**

Cuadro de una selección de ajustes recomendados
Sistema eje único. Ejes h8, h9 y h11

(De una publicación de la firma Fratelli Borletti)

500 μ, 400, 300, 200, 100, 0, – 100, – 200	h8	h9	H8	F8	E9	D10	h11	H11	D11	C11	B11	A11

Gráfico demostrativo de las diferencias y posiciones de las tolerancias para diámetros de 18 a 30 mm. Valores en μ = 1/1000 mm

eje / agujero

Grupos de medidas mm	EJE		AGUJERO				EJE	AGUJERO				
	h8	h9	H8	F8	E9	D10	h11	H11	D11	C11	B11	A11
1 a 3	0 – 14	0 – 25	+14 0	+ 21 + 7	+ 39 + 14	+ 60 + 20	0 – 60	+ 60 0	+ 80 + 20	+120 + 60	+ 200 + 140	+ 330 + 270
más de 3 a 6	0 – 18	0 – 30	+18 0	+ 28 + 10	+ 50 + 20	+ 78 + 30	0 – 75	+ 75 0	+105 + 30	+145 + 70	+ 215 + 140	+ 345 + 270
más de 6 a 10	0 – 22	0 – 36	+22 0	+ 35 + 13	+ 61 + 25	+ 98 + 40	0 – 90	+ 90 0	+130 + 40	+170 + 80	+ 240 + 150	+ 370 + 280
más de 10 a 18	0 – 27	0 – 43	+27 0	+ 43 + 16	+ 75 + 32	+120 + 50	0 –110	+110 0	+160 + 50	+205 + 95	+ 260 + 150	+ 400 + 290
más de 18 a 30	0 – 33	0 – 52	+33 0	+ 53 + 20	+ 92 + 40	+149 + 65	0 –130	+130 0	+195 + 65	+240 +110	+ 290 + 160	+ 430 + 300
más de 30 a 40	0 – 39	0 – 62	+39 0	+ 64 + 25	+112 + 50	+180 + 80	0 –160	+160 0	+240 + 80	+280 +120	+ 330 + 170	+ 470 + 310
más de 40 a 50										+290 +130	+ 340 + 180	+ 480 + 320
más de 50 a 65	0 – 46	0 – 74	+46 0	+ 76 + 30	+134 + 60	+220 +100	0 –190	+190 0	+290 +100	+330 +140	+ 380 + 190	+ 530 + 340
más de 65 a 80										+340 +150	+ 390 + 200	+ 550 + 360
más de 80 a 100	0 – 54	0 – 87	+54 0	+ 90 + 36	+159 + 72	+260 +120	0 –220	+220 0	+340 +120	+390 +170	+ 440 + 220	+ 600 + 380
más de 100 a 120										+400 +180	+ 460 + 240	+ 630 + 410
más de 120 a 140	0 – 63	0 –100	+63 0	+106 + 43	+185 + 85	+305 +145	0 –250	+250 0	+395 +145	+450 +200	+ 510 + 260	+ 710 + 460
más de 140 a 160										+460 +210	+ 530 + 280	+ 770 + 520
más de 160 a 180										+480 +230	+ 560 + 310	+ 830 + 580
más de 180 a 200	0 – 72	0 –115	+72 0	+122 + 50	+215 +100	+355 +170	0 –290	+290 0	+460 +170	+530 +240	+ 630 + 340	+ 950 + 660
más de 200 a 225										+550 +260	+ 670 + 380	+1030 + 740
más de 225 a 250										+570 +280	+ 710 + 420	+1110 + 820
más de 250 a 260	0 – 81	0 –130	+81 0	+137 + 56	+240 +110	+400 +190	0 –320	+320 0	+510 +190	+620 +300	+ 800 + 480	+1240 + 920
mas de 260 a 280		0 –130			+240 +110					+620 +300	+ 800 + 480	+1240 + 920
más de 280 a 315										+650 +330	+ 860 + 540	+1370 +1050
más de 315 a 355	0 – 89	0 –140	+89 0	+151 + 62	+265 +125	+440 +210	0 –360	+360 0	+570 +210	+720 +360	+ 960 + 600	+1560 +1200
más de 355 a 360										+760 +400	+1040 + 680	+1710 +1350
más de 360 a 400	0 – 89	0 –140	+89 0		+265 +125					+760 +400	+1040 + 680	+1710 +1350
más de 400 a 450	0 – 97	0 –155	+97 0	+165 + 68	+290 +135	+400 +230	0 –400	+400 0	+630 +230	+840 +440	+1160 + 760	+1900 +1500
más de 450 a 500										+880 +480	+1240 + 840	+2050 +1650
Tipo de ajuste			MÓVIL					MÓVIL				
N.º de tabla UNI	1104	1105	1112		1113	1114	1107			1115		
Ajuste UNIM corresp.	mF=mSC	m SC = m A		m LN		m LA	gF = g SC	gSC=gA	g LN	g LL		g LA
N.º de Tabla	34							35				

Sistema de tolerancias **ISA**

Cuadro de una seleccion de ajustes recomendados
Sistema agujero único. Agujeros H6 y H7

(De una publicación de la firma Fratelli Borletti)

H6 | n5 | m5 | k5 | j5 | h5 | g5 | H7 | s6 | r6 | n6 | m6 | k6 | j6 | h6 | g6 | f7 | e8 | d9

µ 40, 20, 0, − 20, − 40, − 60, − 80, −100, −120, −140

Gráfico demostrativo
de las diferencias y posiciones de las
tolerancias para diámetros de 18 a 30 mm
Valores en $\mu = 1/1000$ mm
eje
agujero

Grupos de medidas mm	AGUJERO H6	EJE n5	EJE m5	EJE k5	EJE j5	EJE h5	EJE g5	AGUJERO H7	EJE s6	EJE r6	EJE n6	EJE m6	EJE k6	EJE j6	EJE h6	EJE g6	EJE f6	EJE e8	EJE d9
1 a 3	+ 7 0	+11 + 6	+ 7 + 2	— —	+ 4 − 1	0 − 5	− 3 − 8	+ 9 0	+ 22 + 15	+ 19 + 12	+13 + 6	+ 9 + 2	— —	+ 6 − 1	0 − 7	− 3 −10	− 7 − 16	− 14 − 28	− 20 − 45
más de 3 a 6	+ 8 0	+13 + 8	+ 9 + 4	— —	+ 4 − 1	0 − 5	− 4 − 9	+12 0	+ 27 + 19	+ 23 + 15	+16 + 8	+12 + 4	— —	+ 7 − 1	0 − 8	− 4 −12	− 10 − 22	− 20 − 38	− 30 − 60
más de 6 a 10	+ 9 0	+16 +10	+12 + 6	+ 7 + 1	+ 4 − 2	0 − 6	− 5 −11	+15 0	+ 32 + 23	+ 28 + 19	+19 +10	+15 + 6	+10 + 1	+ 7 − 2	0 − 9	− 5 −14	− 13 − 28	− 25 − 47	− 40 − 76
más de 10 a 18	+11 0	+20 +12	+15 + 7	+ 9 + 1	+ 5 − 3	0 − 8	− 6 −14	+18 0	+ 39 + 28	+ 34 + 23	+23 +12	+18 + 7	+12 + 1	+ 8 − 3	0 −11	− 6 −17	− 16 − 34	− 32 − 59	− 50 − 93
más de 18 a 30	+13 0	+24 +15	+17 + 8	+11 + 2	+ 5 − 4	0 − 9	− 7 −16	+21 0	+ 48 + 35	+ 41 + 28	+28 +15	+21 + 8	+15 + 2	+ 9 − 4	0 −13	− 7 −20	− 20 − 41	− 40 − 73	− 65 −117
más de 30 a 40	+16 0	+28 +17	+20 + 9	+13 + 2	+ 6 − 5	0 −11	− 9 −20	+25 0	+ 59 + 43	+ 50 + 34	+33 +17	+25 + 9	+18 + 2	+11 − 5	0 −16	− 9 −25	− 25 − 50	− 50 − 89	−142 − 80
más de 40 a 50																			
más de 50 a 65	+19 0	+33 +20	+24 +11	+15 + 2	+ 6 − 7	0 −13	−10 −23	+30 0	+ 72 + 53	+ 60 + 41	+39 +20	+30 +11	+21 + 2	+12 − 7	0 −19	−10 −29	− 30 − 60	− 60 −106	−100 −174
más de 65 a 80									+ 78 + 59	+ 62 + 43									
más de 80 a 100	+22 0	+38 +23	+28 +13	+18 + 3	+ 6 − 9	0 −15	−12 −27	+35 0	+ 93 + 71	+ 73 + 51	+45 +23	+35 +13	+25 + 3	+13 − 9	0 −22	−12 −34	− 36 − 71	− 72 −126	−120 −207
más de 100 a 120									+101 + 79	+ 76 + 54									
más de 120 a 140	+25 0	+45 +27	+33 +15	+21 + 3	+ 7 −11	0 −18	−14 −32	+40 0	+117 + 92	+ 88 + 63	+52 +27	+40 +15	+28 + 3	+14 −11	0 −25	−14 −39	− 43 − 83	− 85 −148	−145 −245
más de 140 a 160									+125 +100	+ 90 + 65									
más de 160 a 180									+133 +108	+ 93 + 68									
más de 180 a 200	+29 0	+51 +31	+37 +17	+24 + 4	+ 7 −13	0 −20	−15 −35	+45 0	+151 +122	+106 + 77	+60 +31	+46 +17	+33 + 4	+16 −13	0 −29	−15 −44	− 50 − 96	−100 −172	−170 −285
más de 200 a 225									+159 +130	+109 + 80									
más de 225 a 250									+169 +140	+113 + 84									
más de 250 a 260	+32 0	+57 +34	+43 +20	+27 + 4	+ 7 −16	0 −23	−17 −40	+52 0	+190 +156	+126 + 94	+66 +34	+52 +20	+36 + 4	+16 −16	0 −32	−17 −49	− 56 −108	−110 −191	−190 −320
más de 260 a 280	+32 0								+190 +158	+126 + 94		+52 +20		+16 −16		−17 −49		−110 −191	
más de 280 a 315									+202 +170	+130 + 98									
más de 315 a 355	+36 0	+62 +37	+46 +21	+29 + 4	+ 7 −18	0 −25	−18 −43	+57 0	+226 +190	+144 +108	+73 +37	+57 +21	+40 + 4	+18 −18	0 −36	−18 −54	− 62 −119	−125 −214	−210 −350
más de 355 a 360									+244 +208	+150 +114									
más de 360 a 400	+36 0							+57 0		+150 +114	+73 +37	+57 +21		+18 −18	0 −36	−18 −54	− 62 −119	−125 −214	
más de 400 a 500	+40 0	+67 +40	+50 +40	+32 + 5	+ 7 −20	0 −27	−20 −47	+63 0	+272 +232	+166 +126	+80 +40	+63 +23	+45 + 5	+20 −20	0 −40	−20 −60	− 68 −131	−135 −232	−230 −385
más de 450 a 500									+292 +252	+172 +132									
Tipo de ajuste		INDETERMINADO				MÓVIL			PRENSADO		INDETERMINADO					MÓVIL			
N.º de tabla UNI	1110	1101						1111	1102								1103	1104	1105
Ajuste UNIM corresp.	eF=eSC	pBS	pBN	pBL	pSP	pSC=pA		pF=pSC	pBP		pBS	pBN	pBL	pSP	pSC=pA	pLS	pLN	pLL	pLA
N.º de Tabla	32							33											

La correspondencia entre los ajustes ISA y UNIM se entiende sólo en sentido muy lato. (Para la sustitución ISA-UNIM y UNIM-ISA de los calibres, véanse tablas UNI 1530-1535.)

Sistema de tolerancias ISA

Cuadro de una selección de ajustes recomendados
Sistema agujero único. Agujeros H8 y H11

(De una publicación de la firma Fratelli Borletti)

Grupos de medidas mm	AGUJERO	EJE					AGUJERO	EJE				
	H8	h8	h9	f8	e9	d10	H11	h11	d11	c11	b11	a11
1 a 3	+14 0	0 –14	0 –25	– 7 – 21	– 14 – 39	– 20 – 60	+ 60 0	0 – 60	– 20 – 80	– 60 –120	– 140 – 200	– 270 – 330
más de 3 a 6	+18 0	0 –18	0 –30	– 10 – 28	– 20 – 50	– 30 – 78	+ 75 0	0 – 75	– 30 –105	– 70 –145	– 140 – 215	– 270 – 345
más de 6 a 10	+22 0	0 –22	0 –36	– 13 – 35	– 25 – 61	– 40 – 98	+ 90 0	0 – 90	– 40 –130	– 80 –170	– 150 – 240	– 280 – 370
más de 10 a 18	+27 0	0 –27	0 –43	– 16 – 43	– 32 – 75	– 50 –120	+110 0	0 –110	– 50 –160	– 95 –205	– 150 – 260	– 290 – 400
más de 18 a 30	+33 0	0 –33	0 –52	– 20 – 53	– 40 – 92	– 65 –149	+130 0	0 –130	– 65 –195	–110 –240	– 160 – 290	– 300 – 430
más de 30 a 40	+39 0	0 –39	0 –62	– 25 – 64	– 50 –112	– 80 –180	+160 0	0 –160	– 80 –240	–120 –280	– 170 – 330	– 310 – 470
más de 40 a 50										–130 –290	– 180 – 340	– 320 – 480
más de 50 a 65	+46 0	0 –46	0 –74	– 30 – 76	– 60 –134	–100 –220	+190 0	0 –190	–100 –290	–140 –330	– 190 – 380	– 340 – 530
más de 65 a 80										–150 –340	– 200 – 390	– 360 – 550
más de 80 a 100	+54 0	0 –54	0 –87	– 36 – 90	– 72 –159	–120 –260	+220 0	0 –220	–120 –340	–170 –390	– 220 – 440	– 380 – 600
más de 100 a 120										–180 –400	– 240 – 460	– 410 – 630
más de 120 a 140	+63 0	0 –63	0 –100	– 43 –106	– 85 –185	–145 –305	+250 0	0 –250	–145 –395	–200 –450	– 260 – 510	– 460 – 710
más de 140 a 160										–210 –460	– 280 – 530	– 520 – 770
más de 160 a 180										–230 –480	– 310 – 560	– 580 – 830
más de 180 a 200	+72 0	0 –72	0 –115	– 50 –122	–100 –215	–170 –355	+290 0	0 –290	–170 –460	–240 –530	– 340 – 630	– 660 – 950
más de 200 a 225										–260 –550	– 380 – 670	– 740 –1030
más de 225 a 250										–280 –570	– 420 – 710	– 820 –1110
más de 250 a 260	+81 0	0 –81	0 –130	– 56 –137	–110 –240	–190 –400	+320 0	0 –320	–190 –510	–300 –620	– 480 – 800	– 920 –1240
más de 260 a 280					–110 –240		+320 0			–300 –620	– 480 – 800	– 920 –1240
más de 280 a 315										–330 –650	– 540 – 860	–1050 –1370
más de 315 a 355	+89 0	0 –89	0 –140	– 62 –151	–125 –265	–210 –440	+360 0	0 –360	–210 –570	–360 –720	– 600 – 960	–1200 –1560
más de 355 a 360										–400 –760	– 680 –1040	–1350 –1710
más de 360 a 400	+89 0	0 –89			–125 –265		+360 0			–400 –760	– 680 –1040	–1350 –1710
más de 400 a 450	+97 0	0 –97	0 –155	– 68 –165	–135 –290	–230 –480	+400 0	0 –400	–230 –630	–440 –840	– 760 –1160	–1500 –1900
más de 450 a 500										–480 –880	– 840 –1240	–1650 –2050
Tipo de ajuste		MÓVIL						MÓVIL				
N.º de tabla UNI	1112	1104	1105	1104	1105	1106	1115	1107				
Ajuste UNIM corresp.	mF=mSC	mSC=mA		mLN		mLA	gF=gSC	gSC=gA	gLN	gLL		gLA
N.º de Tabla	34						35					

Tabla 19

Campo de aplicación y ejemplos de uso de algunos ajustes AGUJERO ÚNICO de empleo corriente		
Ajustes. Características y montaje	Campo de aplicación	Ejemplos de aplicaciones
H 6 - g 5 de deslizamiento. Montaje: libre a mano.	Partes giratorias de elevada precisión, con cargas pesadas, pero con lubricación racional, de suspensión hidrodinámica correcta.	Árboles giratorios de acero, bonificados y rectificados, girando en cojinetes; husillos de rectificadoras, de mandriladoras, en cojinetes ajustables; engranajes para bombas de aceite, de elevado grado de precisión, tanto en sentido axial como radial.
H 6 - h 5 ; H 6 - h 6 de deslizamiento ▽▽▽ Montaje: de deslizamiento a mano.	Centrado de ajustes de alta precisión, con deslizamiento axial o movimiento giratorio lento u oscilante, con lubricación interna.	Levas oscilantes movidas por excéntricas en cojinetes. Vástagos de pistones; sin segmentos, para bombas de aceite movibles en el cilindro Manguitos portahusillos y husillos de fresadoras y mandriladoras de gran precisión. Pasadores en los patines de mando de embragues de elevada precisión. Distribuidores o llaves de paso de movimiento alternativo longitudinal o angular para mandos hidráulicos de alta precisión. Pasadores de posición muy exacta. Pernos de unión de la tapa y pie de la biela.
H 6 - j 5 ; H 6 - j 6 de empuje ▽▽▽ Montaje: a mano con martillo	Ajustes de precisión de partes fijos, desmontables a mano; asientos fijos de centrado de alta precisión; ajustes apretados; deslizables axialmente, de asiento corto.	Ruedas de recambio, montadas con chavetas o sobre árboles acanalados (centrado sobre árbol interno). Anillos de centrado de posición con doble superficie de centrado de diferente diámetro en la parte desmontable. Cuando el asiento de ajuste sea más largo o se exija menos precisión, se puede emplear H 7 - j 6 aunque no es recomendable.
H 6 - n 5 forzado apretado ▽▽▽ Montaje: a mano con martillo o prensa o con diferencia de temperatura.	Ajustes prensados, no desmontables a mano; partes no apretadas axialmente, pero impidiendo la rotación recíproca, bajo la acción de un momento de torsión, que se ajustan en frío con prensa o en caliente con martillo.	Engranajes de fuerza fijos, montados con chavetas o sobre árboles acanalados; coronas de bronce para ruedas helicoidales, para calar sobre cuerpos portantes de acero o fundición. Pasadores desmontables. Cojinetes en su asiento exterior, cuando se prevén sucesivos desmontajes. Anillos de doble superficie de centrado cilíndrico.
H 6 - n 6 forzado con prensa ▽▽▽ Montaje: con prensa.	Para órganos recíprocamente fijos montados bajo fuerte presión, impidiendo el deslizamiento axial y la rotación.	Uniones entre los manguitos de asiento de las válvulas y la cabeza en los motores de combustión interna.
H 6 - p 5 ▽▽▽ forzado con prensa. Montaje: a mano, con martillo o prensa y con diferencia de temperatura.	Ajustes prensados, no desmontables, de partes que hayan de trabajar como una pieza única, transmitiendo sin chavetas, grandes esfuerzos axiales y momentos de torsión.	Espigas clavadas en las respectivas horquillas sobre mandos de patines. Embragues de mucha importancia. Cojinetes en sus respectivos asientos externos, que no se hayan de desmontar nunca. En todo caso, el desmontaje puede efectuarse, a lo más con prensa y en caliente.
H 7 - f 6 libre normal ▽▽▽ Montaje: libre a mano.	Ajustes giratorios generales, con cargas bajas y pocas exigencias de centrado.	Árboles y manguitos de transmisiones con mando a mano, de poca importancia. Poleas locas. Volantes de maniobra.
H 7 - f 6 libre normal ▽▽▽ Montaje: libre a mano.	Ajustes giratorios de gran velocidad, con centrado imperfecto, y juego sensible, con suspensión hidrodinámica imperfecta.	Árboles rápidos en general en los correspondientes cojinetes. Husillos de rectificadoras de precisión en los correspondientes cojinetes. Árboles en cojinetes de longitud superior al doble del diámetro. Extremos de árboles portafresas de fresadoras montados directamente en el cojinete del soporte del extremo. Chavetas. Árboles para el husillo de las taladradoras. Pasadores de posición de precisión media. Diámetros exteriores de engranajes para bombas de aceite.
H 7 - g 6 libre muy justo ▽▽▽ Montaje: de deslizamiento a mano.	Ajustes giratorios con velocidades periféricas de 2 a 4 m/segundo, con buen centrado; ajustes con movimiento axial alternativo con velocidad media menor de 0,6 m/seg.	Husillos para fresadoras de precisión media, en los correspondientes cojinetes. Manguitos del soporte del extremo o del soporte intermedio del árbol portafresas de fresadoras. Árboles y cojinetes en general. Engranajes para bombas de aceite montados con precisión (axial y radial) en la caja. Asientos de cojinetes. Ruedas de recambio de divisores. Cojinetes de bolas de poca velocidad y poca carga.
H 7 - h 6 de deslizamiento ▽▽▽ Montaje: de deslizamiento a mano.	Como H 6 - h 5, pero en casos de menor precisión y asientos más largos.	Árboles portafresas y fresas. Vástagos de pistones, de bombas de aceite de movimiento alternativo en el cilindro. Distribuidores y llaves de movimiento alternativo axial y angular para mandos hidráulicos de precisión. Cubos de engranajes para cadenas. Puede sustituir H 7 - m 6, indeterminado, procurando evitarlo (o seleccionarlo).
H7-r6; H7-s6 ▽▽▽ forzado con prensa. Montaje: a mano, con martillo o prensa y con diferencia de temperatura.	Ajustes prensados no desmontables, para partes formando como una sola pieza, capaces de transmitir esfuerzos axiales y pares sin chaveta.	Las mismas aplicaciones que el ajuste H 6 - p 5. Sustituye también el ajuste H 7 - n 6 o H 7 - p 5 que deberá seleccionarse.
H 7 - u 7 ▽▽ forzado con prensa. Montaje: con prensa y a mano con diferencia de temperatura.	Para órganos fijos con aprieto fortísimo: el desmontaje sólo es posible con la sustitución de uno de los dos órganos.	Casquillos de acero o bronce en los correspondientes asientos y pasadores de órganos en movimiento.
H 8 - h 8 deslizante. Montaje: a mano.	Ajustes deslizables axialmente, lubricados con asiento muy largo, de poca precisión.	Distribuidores y llaves hidráulicas, pistones de bombas alternativas en los cilindros, árboles y casquillos de transmisión a baja velocidad, centrado basto: mecánica corriente.

Tabla 20

Campo de aplicación de algunos ajustes EJE ÚNICO de empleo corriente

Ajustes Características	Campo de aplicación y montaje
N 6 - h 7 ▽▽▽ forzado apretado.	Para órganos fijos uno respecto al otro, desmontables solamente con fuerte presión, inmovilizados tanto para la rotación como para el deslizamiento. Montaje: a mano con martillo o pequeña prensa y con diferencia de temperatura.
M 6 - h 6 ▽▽▽ forzado normal	Como el caso anterior, pero desmontables sin gran presión. Montaje: como el anterior.
K 6 - h 6 ▽▽▽ forzado suave.	Como el anterior, pero fácilmente montable y desmontable. Montaje: a mano con martillo de plomo.
J 6 - h 6 ▽▽▽ de empuje	Para órganos asegurados contra rotación y deslizamiento, que no puedan deslizar con facilidad uno respecto a otro. Montaje: a mano, con mazo de madera.
H 6 - h 6 ▽▽▽ de deslizamiento	Para órganos de movimiento lento y con lubricación. Montaje: a mano.
R 8 - h 7 / P 7 - h 7 ▽▽▽ forzado con prensa.	Poco usado para órganos fijos uno respecto a otro. Si Dn > 100 mm con el agujero **R8** se han de efectuar pruebas para el control de las características del ajuste. Montaje: como para N 6 - h 7.
N 7 - h 7 ▽▽▽ forzado apretado.	Como N 6 - h 7, pero con menor precisión.
K 7 - h 7 ▽▽▽ forzado suave.	Como M 6 - h 6, pero con menor precisión.
J 7 - h 7 ▽▽▽ de empuje.	Como J 6 - h 6, pero con menor precisión. Montaje: ídem, o con ligeros golpes de mazo.

Ajustes Características	Campo de aplicación y montaje
H 7 - h 7 ▽▽▽ de deslizamiento.	Como para H 6 - h 6, pero menos preciso.
G 7 - h 6 ▽▽▽ libre muy justo.	Para órganos que deban tener relativa movilidad, pero sin juego apreciable. Montaje: a mano.
F 8 - h 7 ▽▽▽ libre normal.	Como el anterior, pero con juego apreciable. Montaje: a mano.
E 8 - h 7 ▽▽▽ libre amplio.	Para órganos móviles uno con respecto a otro con juego amplio. Montaje: a mano.
H 9 - h 8 ▽▽ de deslizamiento.	Para órganos ajustables, sin esfuerzo y que, en el trabajo ordinario, deslizan con lubricante, uno sobre otro sin esfuerzo. Montaje: a mano.
F 9 - h 8 / E 9 - h 8 ▽▽ libre normal.	Para órganos móviles uno respecto a otro: juego variable desde pequeñísimo a amplio. Montaje: a mano.
D 10 - h 8 ▽▽ libre muy amplio	Como el anterior, pero con juego siempre muy considerable. Montaje: a mano.
H 13 - h 11 ▽▽ de deslizamiento.	Para todos los ajustes fácilmente montables y desmontables a mano, pero con juego limitado, a pesar de la fabricación basta.
B 11 - h 11 / C 11 - h 11 ▽▽ libre amplio.	Para ajustes con partes muy libres y cuando no interese una gran variación del juego. Montaje: a mano.
A 11 - h 11 ▽▽ libre muy amplio.	Para órganos que se montan muy libres y que exigen siempre juego muy amplio. Montaje: a mano.

Tabla 21

Tabla de las diferencias de temperatura de uso corriente en el montaje de ajustes prensados

Material	Montaje	Grupos de diámetros mm	Diferencias de temperatura en C° entre las dos piezas que se han de ajustar								
			H6 - n5	H7 - n6	H6 - p5	H7 - m6	H7 - p7 / H7 - n6	H7 - s6 / H7 - r6	H7 - u7	H8 - K7	H8 - u7
Acero	Con martillo o prensa	Hasta 18	100	—	150	100	190	200	260	100	260
		18 ÷ 50	80	—	110	80	140	180	270	80	270
		> 50	50	—	80	60	90	100	150	60	150
	A mano	Hasta 18	160	160	220	160	300	320	420	160	420
		18 ÷ 50	130	130	180	130	240	280	430	130	430
		> 50	90	90	125	90	140	160	240	90	240
Aleación ligera	Con martillo o prensa	Hasta 18	50	—	—	60	—	—	140	60	140
		18 ÷ 50	40	—	—	40	—	—	140	40	140
		> 50	30	—	—	40	—	—	80	40	80
	A mano	Hasta 18	80	—	—	—	—	—	220	90	220
		18 ÷ 50	60	70	—	70	—	—	220	70	220
		> 50	40	60	—	60	—	—	130	60	130

sigue, donde las tres diferencias de temperatura que aparecen en cada casilla se ha de entender que corresponden respectivamente a diámetros nominales hasta 18 mm; de 18 a 50 mm; y de más de 50 mm (tabla 21).

41. Selección de las tolerancias para los diferentes acabados

Es evidentemente necesario que cuando se señalan unas tolerancias se tenga una idea clara de las tolerancias que se pueden alcanzar con cada clase de trabajo. En la tabla 22 se ha tratado de agrupar con tal objeto los trabajos más corrientes en relación con las diferentes calidades del sistema **ISA**. Pero está claro que no se trata de una indicación general, por cuanto ante todo las diferentes calidades requieren una tolerancia que va creciendo al aumentar las dimensiones; por lo que, como ejemplo, para una medida nominal muy pequeña podría el trabajo señalado resultar inadecuado para alcanzar la calidad que se obtendría para una medida mayor. En segundo lugar, la exactitud que se puede obtener depende en gran parte del estado de desgaste y de conservación de la maquinaria; así como de su antigüedad; pero principalmente de la destreza de los operarios destinados a los diferentes trabajos. Se ve, pues, que son muchos los elementos de los que depende el grado de precisión a que se puede llegar con un mecanizado dado. El dibujante debe tenerlos en cuenta en los límites de lo posible.

Tabla 22

Cuadro resumen de las características de las **calidades ISA**

Calidades ISA	Correspondencia UNI		Valores de asperezas máximas para las diferentes medidas					Mecanizados correspondientes		APLICACIONES	
	Agujeros	Ejes	Hasta 3 mm	desde 3 hasta 18	desde 18 a 80	de 80 a 250	más de 250	Agujeros	Ejes	Agujeros	Ejes
1									mecanizados con máquinas especiales	acabados de extra-ordinaria precisión, calibres de comprobación	acabados de extra-ordinaria precisión, bloques de caras paralelas de comprobación, espejos, placas de apoyo de micrómetros
2								mecanizados con máquinas especiales			
3											
4									rectificado sumamente cuidadoso		
5		extra preciso						rectificado muy cuidadoso	torneado		
6	Extra preciso		0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	rectificado		mecanizado de piezas; ajustes de precisión variable desde precisión muy alta a acabados bastos	
7	preciso	preciso; medio	0,3	0,5	0,8	1,2	2	torneado, escariado, brochado			
8	medio		0,5	0,8	1,2	2	3	taladrado	limado, trefilado		
9			0,8	1,2	2	3	5		cepillado		
10			1,2	2	3	5	8				
11	basto		2	3	5	8	12	desbastado mecánico, trabajos bastos de estampado, laminado, fusión, etc.			
12			3	5	8	12				piezas no destinadas a ajustes con otras piezas	
13			5	5	12						
14			8	12							
15											
16											

42. Indicaciones de las tolerancias en los dibujos

En la tabla **UNI 3976** se han dado recientemente las normas para indicar las tolerancias en los dibujos. En las reglas que seguirán y en las leyendas de las figuras II, 198-213 se hallarán todas las normas a seguir sobre este asunto.

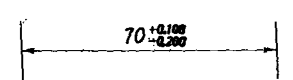


Fig. II, 198. *He aquí cómo se indican las tolerancias sobre una cota horizontal.*

Las tolerancias se han de escribir inmediatamente después de la medida nominal, del mismo modo que la cota, en sentido paralelo a la línea de medida, destacando ligeramente encima de la misma. Se han de colocar de manera que se lean fácilmente mirando desde el pie del dibujo o desde la derecha. Las cifras que indican las tolerancias *han de ser más pequeñas que las de la cota.*

Las tolerancias, cuando **no** correspondan al sistema **ISA**, se indican mediante las diferencias correspondientes, como indica la figura II, 199, escritas después de la cota nominal. Pero si son del sistema **ISA**, se designan con el símbolo de tolerancia **ISA**, escrito después de la medida nominal (fig. II, 200); en caso necesario pueden añadirse los valores de las diferencias entre paréntesis (fig. II, 201).

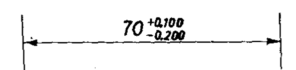


Fig. II, 199. *Las tolerancias sobre una cota vertical se han de escribir de modo que se puedan leer mirando desde la derecha.*

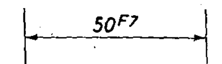


Fig. II, 200. *Las tolerancias ISA se pueden indicar mediante la cota nominal sola, seguida del símbolo correspondiente.*

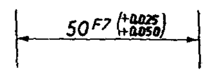


Fig. II, 201. *Si es necesario, se pueden añadir al símbolo ISA, entre paréntesis, las correspondientes diferencias.*

En las leyendas de las figuras II, 202-225 se señalan las normas que se han de seguir en las indicaciones de las diferencias, en el empleo de unidades de medida, en las indicaciones de limitaciones de medidas en un solo sentido y en las indicaciones de las tolerancias en los dibujos de conjunto; se presentan además numerosos ejemplos de aplicaciones de estas normas.

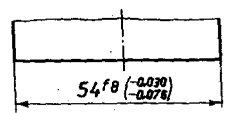


Fig. II, 202. *Al indicar las diferencias se han de escribir una encima de otra; se escribe encima la diferencia correspondiente a la medida* que resulta del primer mecanizado de la pieza. *De modo que para un eje se pone encima la diferencia superior.*

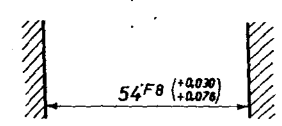


Fig. II, 203. *Conforme a lo expuesto a propósito de la figura anterior, para los agujeros se escribe encima la diferencia inferior.*

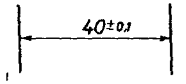


Fig. II, 204. *Si los valores de las tolerancias son simétricos respecto a la medida nominal, el valor absoluto de la diferencia se ha de escribir una sola vez, precedido del signo ±.*

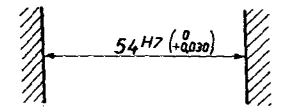


Fig. II, 205. *Los valores de las diferencias se han de escribir siempre con el mismo número de cifras; se exceptúa solamente el caso de que una diferencia sea cero, en el que bastará indicarlo con un 0.*

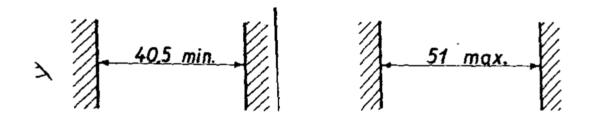


Fig. II, 206. Fig. II, 207.

Figs. II, 206-207. *Si una medida está limitada en un solo sentido, su cota ha de llevar a continuación las abreviaturas «min» o «máx», según los casos.*

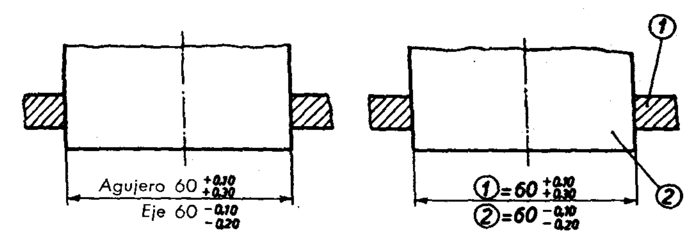


Fig. II, 208. Fig. II, 209.

Figs. II, 208-209. *Cuando se acota un conjunto, las cotas de cada elemento han de ir precedidas del nombre del elemento al que se refieren* (fig. II, 208), *o bien de la referencia del mismo* (fig. II, 209). *En ambos casos, la cota del agujero se escribe siempre sobre la línea de medida y la del eje debajo.*

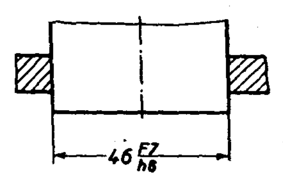


Fig. II, 210. *Si se acota un ajuste ISA, se han de indicar los símbolos de la tolerancia, después de indicar una sola vez la medida nominal, interrumpiendo la línea de medida; a continuación se pone el símbolo del agujero sobre la línea y el del eje debajo.*

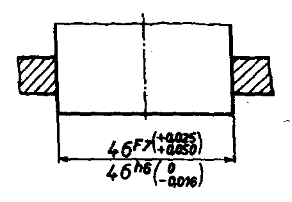
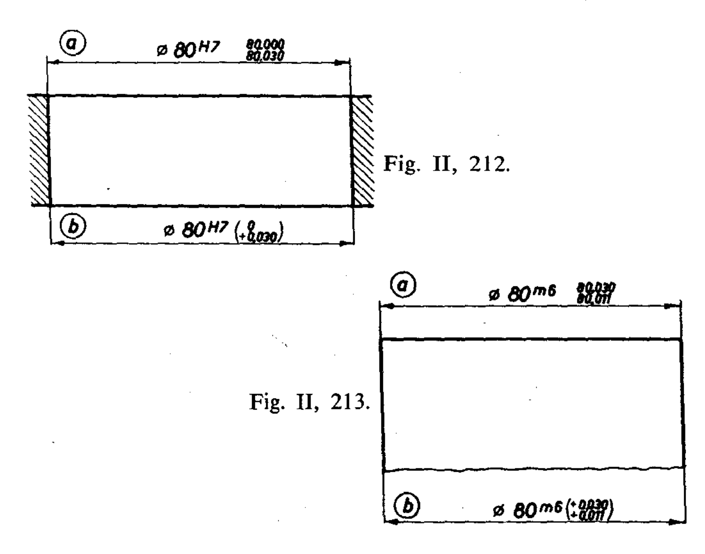


Fig. II, 211. *Cuando en un dibujo sea necesario indicar las diferencias de un ajuste ISA, se escribirán entre paréntesis, como se ve en la figura.*



Figs. II, 212-213. *A veces en los dibujos se indican las tolerancias de un modo no unificado* (a); *se indican en* (b) *las mismas tolerancias escritas según las normas de unificación.*

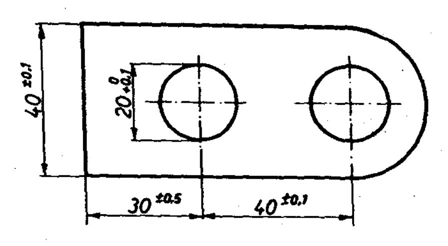


Fig. II, 214.

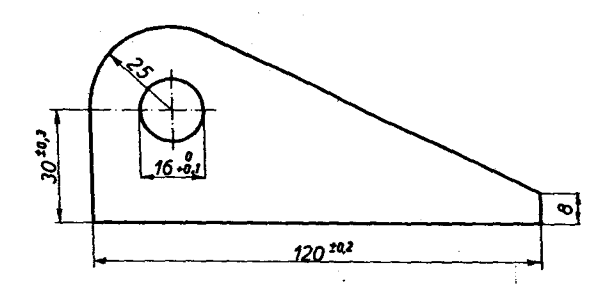


Fig. II, 215.

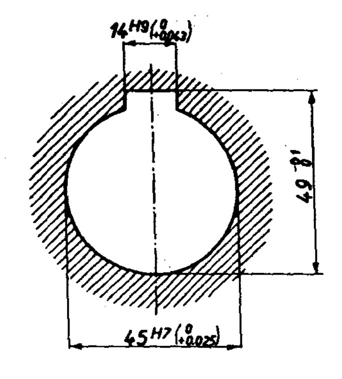


Fig. II, 216.

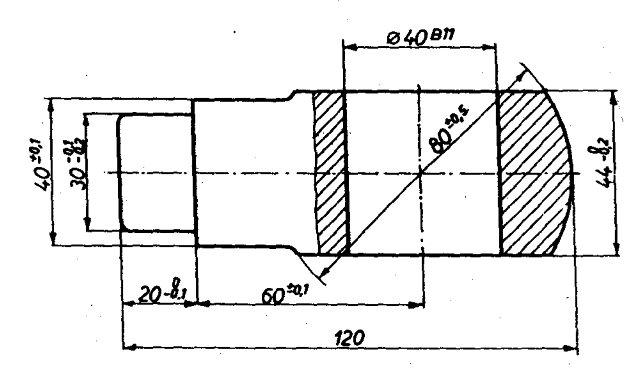


Fig. II, 217.

Figs. II, 214-217. *Ejemplos de acotaciones con tolerancias.*

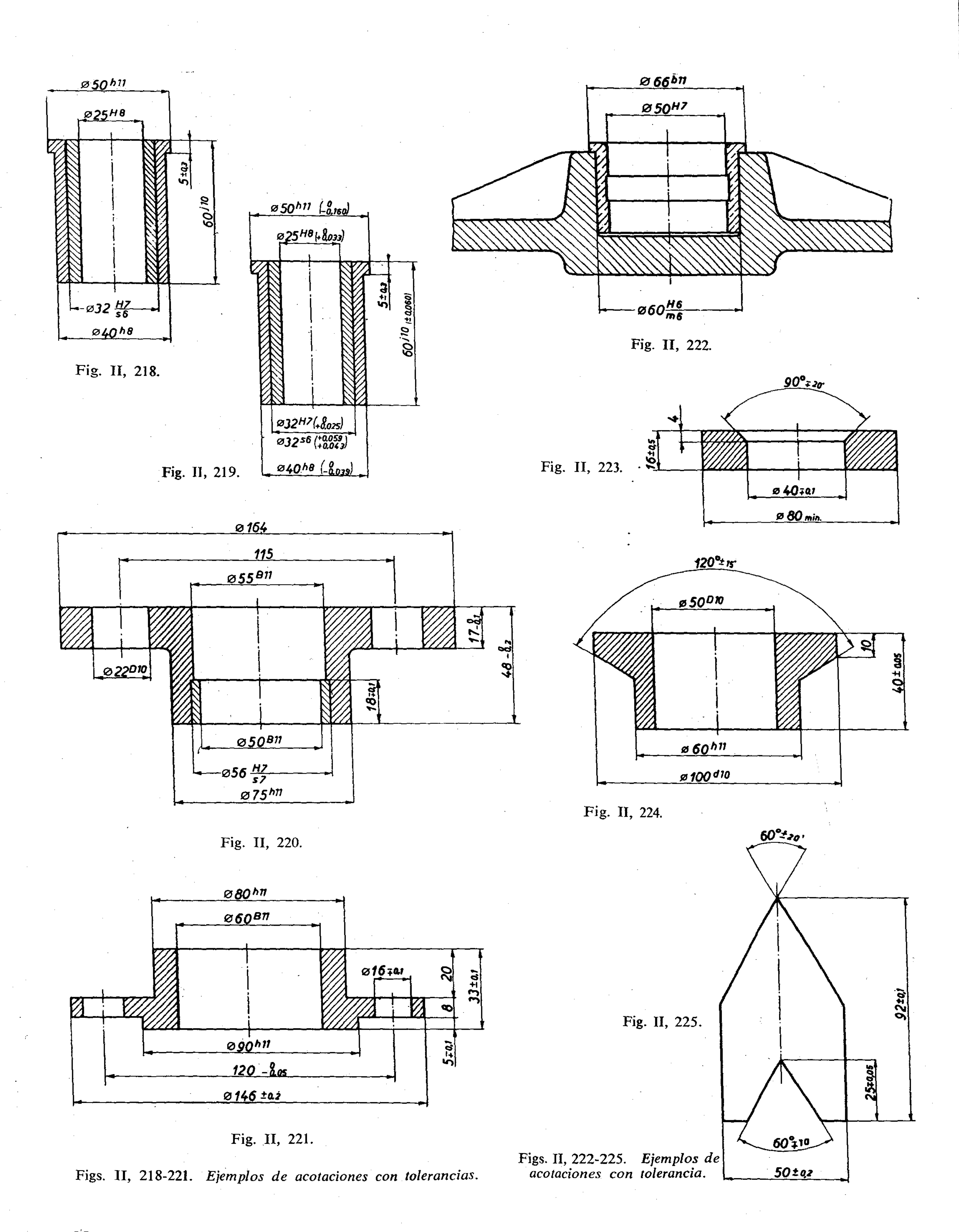


Fig. II, 218.

Fig. II, 219.

Fig. II, 220.

Fig. II, 221.

Figs. II, 218-221. *Ejemplos de acotaciones con tolerancias.*

Fig. II, 222.

Fig. II, 223.

Fig. II, 224.

Fig. II, 225.

Figs. II, 222-225. *Ejemplos de acotaciones con tolerancia.*

43. Influencia del sistema de acotación sobre las tolerancias de conjunto

Este asunto tiene gran importancia, principalmente cuando se trata de piezas que comportan alguna complicación.

En las figuras II, 226-227 se representan dos piezas acotadas por los sistemas en serie y en paralelo.

Es evidente que en la acotación en serie, una vez indicadas las tolerancias de todas las cotas parciales, la tolerancia de la cota total depende de las tolerancias parciales; por lo tanto, *la diferencia superior de la tolerancia total será la suma algebraica de las diferencias superiores; del mismo modo la diferencia inferior será la suma algebraica de las diferencias inferiores* (fig. II, 227).

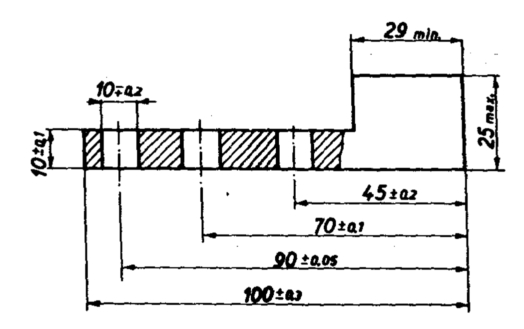


Fig. II, 226. *En la acotación con el sistema en paralelo cada cota tiene su propia tolerancia, en la que no influyen las tolerancias de las otras cotas.*

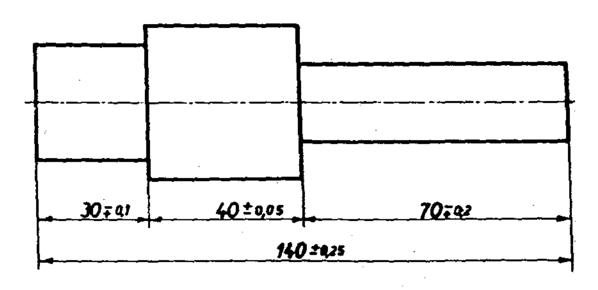


Fig. II, 227. *En el sistema de acotación en serie, en cambio, la tolerancia de cada cota influye sobre las de las otras. La diferencia superior de cada cota (y especialmente la de la cota total) resulta de la suma o diferencia (algebraica) de las otras diferencias superiores. La misma norma sirve para las diferencias inferiores.*

En cambio, en la acotación en paralelo, cada cota con su tolerancia es independiente de las tolerancias de las otras cotas (fig. II, 226).

En la figura II, 228 se presenta otro ejemplo.

Es pues evidente que cuando se dan las cotas parciales según el sistema ISA, teniendo cada cota una calidad o una diferencia que no dependa necesariamente de las otras cotas, la cota total no corresponderá generalmente a alguna calidad o posición del sistema **ISA.** Pero este caso, naturalmente, es sólo teórico ya que no se ve el motivo para acotar una pieza de este último modo.

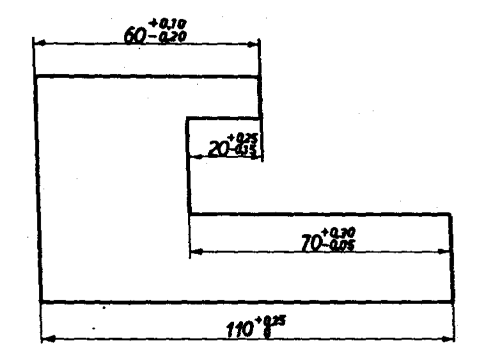


Fig. II, 228. *Otro ejemplo de acotación en serie de tolerancias. La diferencia superior de la cota total (110) se obtiene así:* 0,1 — 0,15 + 0,30 = 0,25; *análogamente la diferencia inferior:* — 0,20 + 0,25 — 0,05 = 0.

44. Tolerancias geométricas de forma y de posición

Aunque nos hemos propuesto como norma general limitar la exposición de las reglas de dibujo sólamente a las normas unificadas, conviene advertir que hay algunas otras tolerancias ya empleadas en los dibujos por algunas grandes industrias y cuya unificación es objeto de estudios internacionales, sin que hasta ahora se haya publicado ningún resultado con carácter obligatorio. Las breves notas que siguen se entienden pues expuestas con reserva, estando tomadas de otras publicaciones y de apuntes sacados de actas no publicadas aún (Convenio de Ginebra).

Estas tolerancias se llaman *geométricas* y se refieren a la **forma** *de líneas y superficies* o a la **posición** *que éstas han de tener respecto a otras, consideradas como referencia.* Y es precisamente en relación con los errores admitidos en la forma y la posición de un elemento de una pieza mecánica que se tienen las tolerancias de forma y de posición.

He aquí, en dos sencillas tablas (23 y 24) las definiciones, los símbolos y un ejemplo de aplicación de estas tolerancias especiales, de empleo corriente, en espera de las correspondientes normas. En las figuras 229-230 se reproducen dos ejemplos de aplicación de estas normas no unificadas.

Tabla 23

Designación de las tolerancias	Definición	Símbolo	Ejemplo
Rectitud	Expresa la máxima diferencia admisible entre un segmento no realmente rectilíneo y el correspondiente segmento ideal		Puede expresarse como tolerancia absoluta — 0,02; 140. o referirse a la longitud del eje — 0,03 S. 200
Llanura	Expresa la máxima diferencia admisible para cualquier punto de la superficie, respecto al correspondiente plano ideal		0,02 S. 200; 320
Circularidad o redondez	Expresa la máxima diferencia admisible para cualquier punto de la línea o de la superficie respecto a la circunferencia o a la superficie cilíndrica ideal		0,08; ⌀35; 0,08; ⌀ 35
Paralelismo entre ejes o entre planos	Expresa el máximo error tolerado en el paralelismo entre dos ejes o entre dos planos Se mide sobre la pieza completa, o se refiere a una base dada		entre ejes: 135; 0,2 / 135. entre planos: 0,03 S. 150
Perpendicularidad	Expresa la máxima diferencia admitida entre un eje y un plano o entre dos ejes o entre dos planos, respecto a la posición exactamente perpendicular pedida. La diferencia se mide sobre la pieza entera o se refiere a una base dada		0,02; ⌀ 120; 0,020 S. 100; ⌀ 130
Angularidad	Expresa la máxima diferencia admitida en la distancia de la traza de una superficie que debería formar un ángulo dado con una dirección señalada, medida sobre toda la longitud o sobre una base dada		0,030

Tabla 24

Designación de las tolerancias	Definición	Símbolo	Ejemplo
Concentricidad o Coaxialidad	Es la máxima diferencia admisible entre dos ejes paralelos que idealmente deberían coincidir		0,030
Ovalado	Es la máxima diferencia admisible entre dos diámetros cualesquiera de una sección cualquiera de una superficie que idealmente debería ser cilíndrica		0,01 / S. 100
Simetría	Es la máxima diferencia admisible en la posición de dos elementos que deberían ser rigurosamente simétricos respecto a un eje o plano de simetría		0,020
Posiciones de puntos y ejes	Es la máxima diferencia admisible en la posición de un punto o de un eje respecto al elemento de referencia		0,04

Tratándose de indicaciones todavía no unificadas, es conveniente abstenerse del uso de las mismas, excepto en el caso de que se vayan adoptando por grandes complejos industriales. Pero se ha considerado necesario dar una idea suficientemente amplia de este asunto, porque se puede dar el caso de que dibujos con tales indicaciones vayan a parar a manos de dibujantes que deberán saber interpretar su significado.

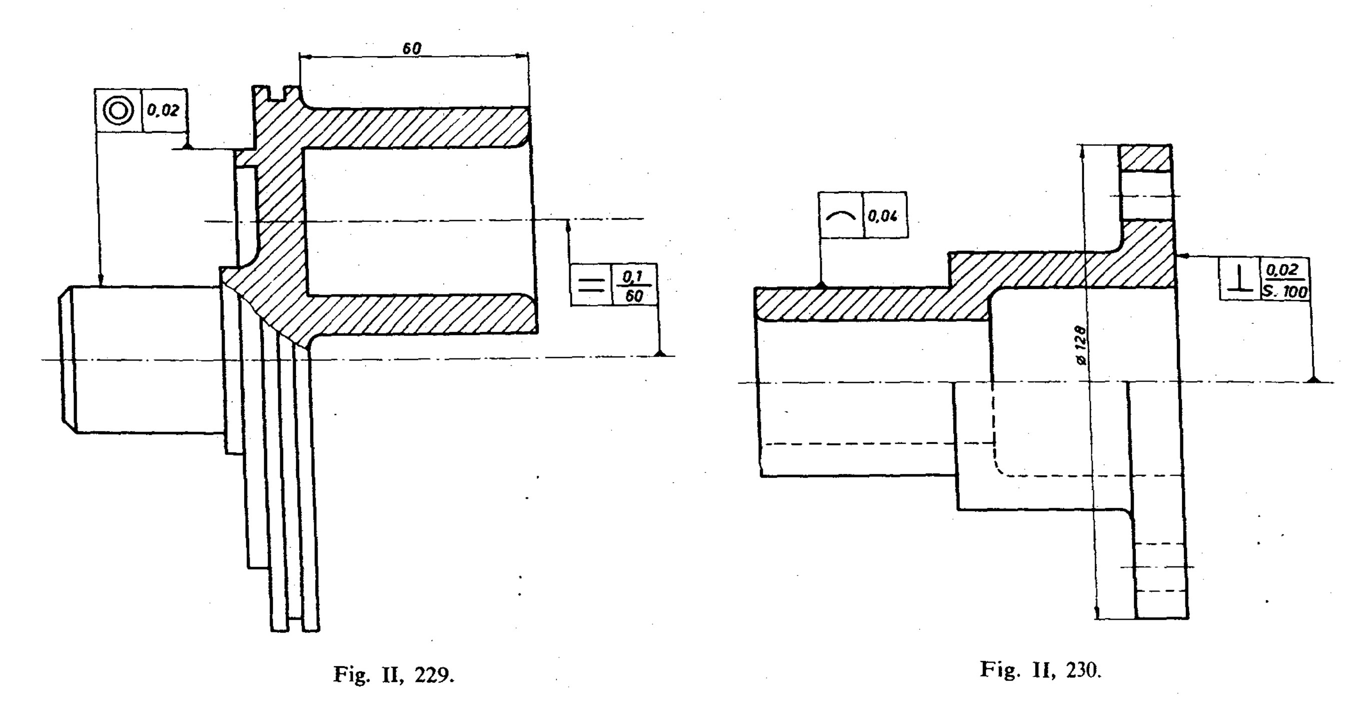


Fig. II, 229.

Fig. II, 230.

Figs. II, 229-230. *Ejemplo de aplicación de las normas no unificadas sobre indicaciones en los dibujos de las tolerancias de forma y posición.*

SECCIÓN SEGUNDA

REPRESENTACIÓN DE VARIOS ÓRGANOS MECÁNICOS Y NORMAS CORRESPONDIENTES

Capítulo VII

UNIONES FIJAS CON REMACHADO Y SOLDADURA

45. Generalidades sobre la unión de las piezas

Cuando una estructura o una construcción mecánica está compuesta de muchas partes y especialmente cuando está formada por planchas, laminados, perfiles y, en general, por piezas que se hayan de juntar por medio de dos bordes de espesor uniforme, superpuestos uno a otro, de modo rígido y definitivo (sin que por ello se excluya la posibilidad de un desmontaje eventual de una de las partes), se recurre generalmente a la soldadura y al remachado.

Cuando por el contrario se ha de prever la descomposición de las partes componentes de la estructura considerada, se recurre a otros sistemas de unión, como tornillos, pernos, chavetas, lengüetas, pasadores, según los casos, como se verá a continuación.

46. Remachado

La unión de las partes antes indicadas mediante remaches es la más antigua. Con el enorme desarrollo alcanzado por la soldadura, los remachados han perdido gran parte de su importancia. Estructuras que hace treinta años se realizaban únicamente con remachado, se efectúan hoy exclusivamente mediante soldadura, ya sea a causa de la mayor sencillez y rapidez de ejecución, ya sea porque los agujeros de los bordes de unión, necesarios para la ejecución del remachado, debilitan siempre dichos bordes de modo muy notable, ya sea, finalmente, porque la estructura resulta más ligera.

No obstante, como que aún puede emplearse el remachado, aunque sólo sea para la conservación y la reparación de construcciones metálicas antiguas, se tratará este asunto con suficiente extensión.

Todo remache tiene una cabeza y un vástago (fig. II, 231); este último, que tiene una forma ligeramente troncocónica, o sea, casi cilíndrica, se introduce en los agujeros adecuados hechos en los bordes de las partes que se han de unir y se remacha luego en caliente o en frío, de modo que la parte *c* del vástago que sobresale forme una segunda cabeza (fig. II, 232).

Los remaches son generalmente de acero extradulce; para aplicaciones especiales se emplean también remaches de cobre, latón o aleaciones ligeras.

Únicamente para diámetros hasta un máximo de 8 mm el remachado de la segunda cabeza se puede efectuar en frío. Estos remaches de pequeño diámetro se llaman especialmente **remaches.** * En todos los

* Aunque las normas DIN sólo consignan la palabra *remaches*, emplearemos la palabra *roblones*, de uso corriente, para los remaches de más de 8 mm de diámetro. *N. del T.*

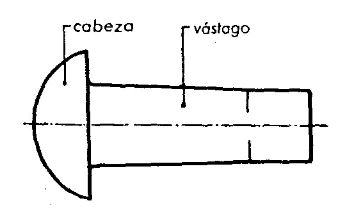


Fig. II, 231. *Remache y sus partes.*

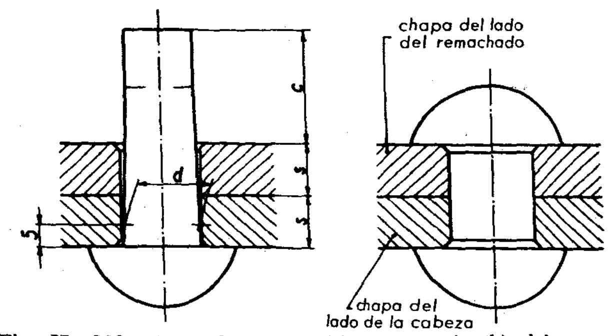


Fig. II, 232. *Remache antes* (a) *y después* (b) *del remachado.*

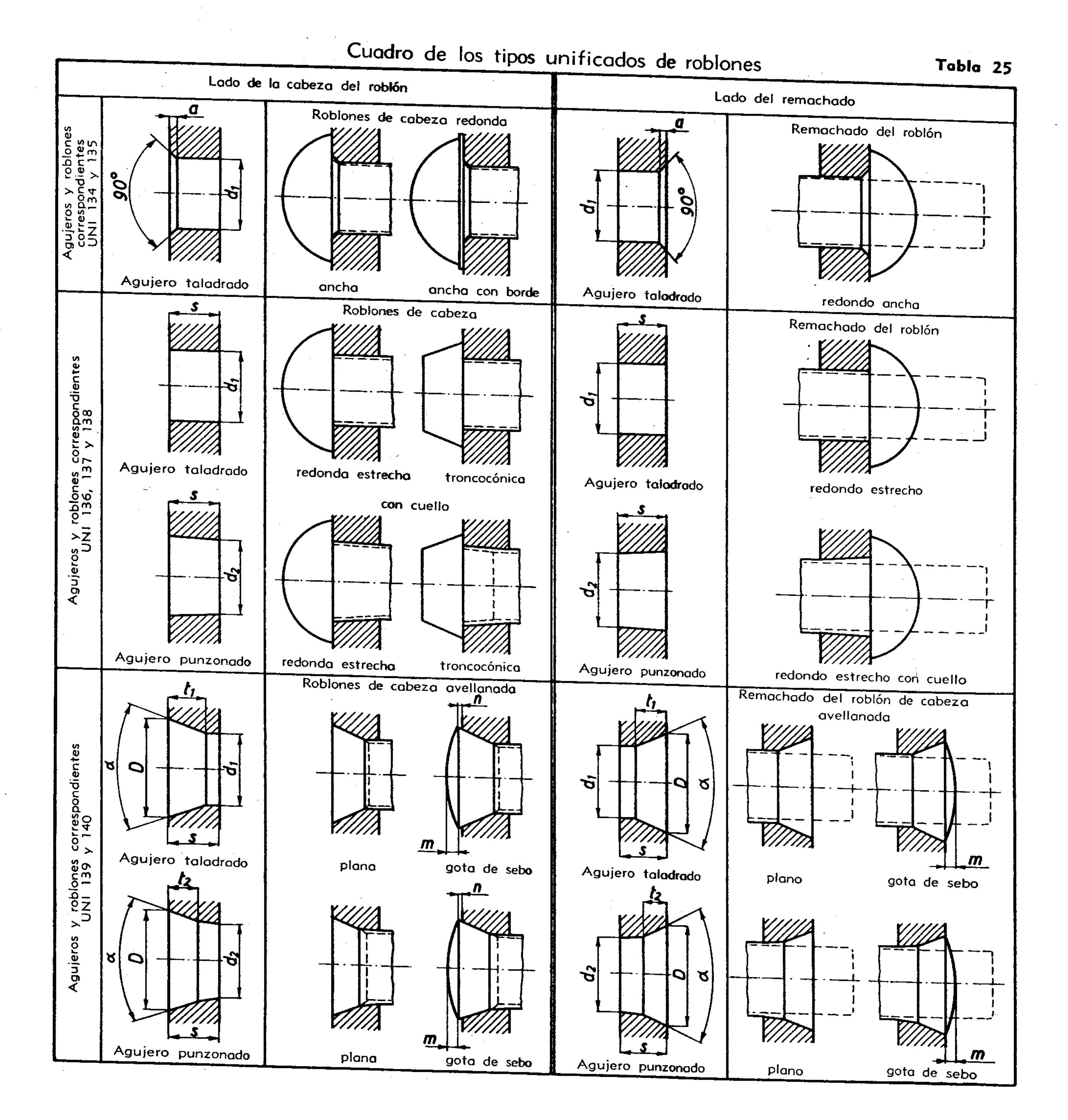
demás casos, el remachado se efectúa en caliente, o sea, calentando previamente al rojo los remaches o **roblones,** mediante adecuadas estampas, de modo que la forma y el tamaño de la cabeza que se forma en la parte remachada se ajuste a las normas. La contracción que experimenta el roblón al enfriarse comprime los bordes unidos, uno contra otro, haciendo más estable la unión de las piezas remachadas.

47. Remaches y normas correspondientes

Las dimensiones y las formas de los remaches están unificadas en las numerosas tablas UNI sobre remachado, como se verá en páginas próximas.

Para todos los remachados, el material de los remaches no ha de ser frágil ni templable. Para los roblones de acero se emplea acero extradulce con cargas de rotura de 30-40 kg/mm² y alargamientos

Cuadro de los tipos unificados de roblones **Tabla 25**



de rotura no inferiores al 25 %. No se emplean nunca aceros con características de resistencia más elevada, porque éstos son siempre más o menos templables; y el brusco enfriamiento que experimenta el roblón, calentado al rojo, al ser colocado y ponerse en contacto con los elementos que se han de unir, que están a la temperatura ambiente y son buenos conductores del calor, produciría una estructura frágil, característica de los aceros templados, que podría fácilmente causar la rotura del roblón.

En la figura II, 232 se han dibujado, en sección, un roblón acabado de colocar en el correspondiente agujero, con algunas de las cotas fundamentales, y uno después del remachado.

La tabla 25 constituye un cuadro esquemático de los tipos de roblones empleados y sus correspondientes formas, tanto del lado de la cabeza del roblón, como del lado del remachado; para todos los tipos está indicada dicha tabla UNI.

Los remachados pueden clasificarse en dos grupos:

a) *De cierre hermético*, aplicados a la construcción de calderas y recipientes de alta o baja presión, cascos de navíos, etc. El remachado se ha de efectuar de modo que, a pesar de la presión interior, no se puedan producir escapes de los líquidos o gases contenidos.

b) *De unión sin cierre*, aplicados a la unión de laminados o perfiles en la construcción de armaduras, arriostramientos, puentes metálicos, etc.

En los remachados herméticos, para asegurar el cierre, se puede recurrir al calafateado (o sea, a la interposición y recubrimiento de la junta, de resinas, barnices, papel o tela impregnados, etc.). Este procedimiento se aplica también a chapas delgadas. Para chapas de espesor superior a 5 mm se puede efectuar el retacado (recalcado de los bordes del palastro y de las cabezas de los roblones mediante un cincel de canto redondeado). El retacado aumenta además la resistencia mecánica del remachado.

Desde el punto de vista de la estructura, los remachados pueden ser:

a) *Por simple superposición de los bordes que se han de unir* (fig. II, 233); puede haber remachados *con una sola fila de remaches* (fig. II, 233); *con dos filas en cadena* (fig. II, 234); *con dos filas en zigzag* o al tresbolillo (fig. II, 235); *con tres filas en zigzag* (fig. II, 236).

b) *Por simple cubrejuntas:* los dos bordes de la plancha que se han de unir se juntan a tope por simple contacto y la zona de unión se cubre por un lado con una tira de palastro llamada *cubrejuntas*, que se remacha con los dos bordes que se han de unir. Es de poco uso.

c) *Por doble cubrejuntas:* como el anterior, pero con la zona de unión cubierta con dos cubrejuntas, uno a cada lado (fig. II, 237). Todo remachado puede ser *sencillo* (fig. II, 237) o *doble* (fig. II, 238). Es una unión muy empleada.

El cálculo de los remachados sobrepasa los límites del presente texto. A veces, para simplificar, se consideran los remaches como sólidos sometidos únicamente a esfuerzo cortante y se calculan como tales; pero este concepto es erróneo. Como se ha dicho, en el roblonado en caliente, el roblón se acorta al enfriarse; con sus dos cabezas comprime fuertemente uno contra otro los dos bordes que se unen, con lo que se produce en el plano de apoyo de los bordes una fuerza de rozamiento, que se opone al resbalamiento del uno sobre el otro. De esta sencilla consideración se deduce que, aunque el modo de efectuarse la unión mediante roblonado las fuerzas que actúan sobre los bordes unidos tienen una dirección y sentido tales que solicitan a los mismos a resbalar uno sobre otro, el roblón se podría considerar como un sólido sometido a cortadura solamente cuando las fuerzas actuantes venciesen la resistencia de rozamiento existente en el plano de unión, lo cual queda excluido por la técnica del roblonado o remachado. Un cálculo de roblonado es por lo tanto más bien complicado y de gran responsabilidad; queda a cargo de los ingenieros proyectistas y por lo tanto no se incluye en el presente texto. Se hace notar únicamente el hecho de que el remachado se ha de calcular de manera que si por alguna causa (por ejemplo, exceso de presión interior de un recipiente remachado,

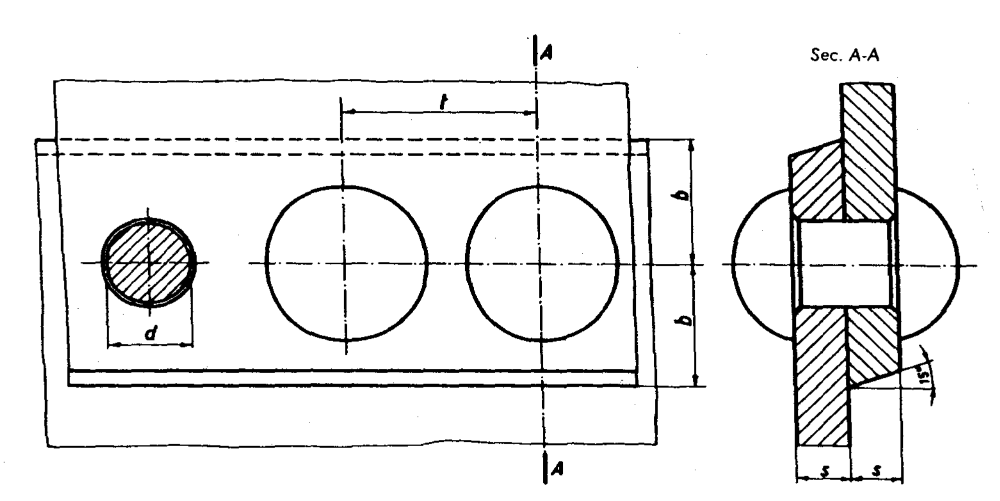


Fig. II, 233. *Remachado por simple superposición; con una sola fila de remaches. Se usan las siguientes fórmulas prácticas (en mm):*

$D = 7\sqrt{s} - 4$; $t = 2d + 8$;
$b = 1{,}5d$

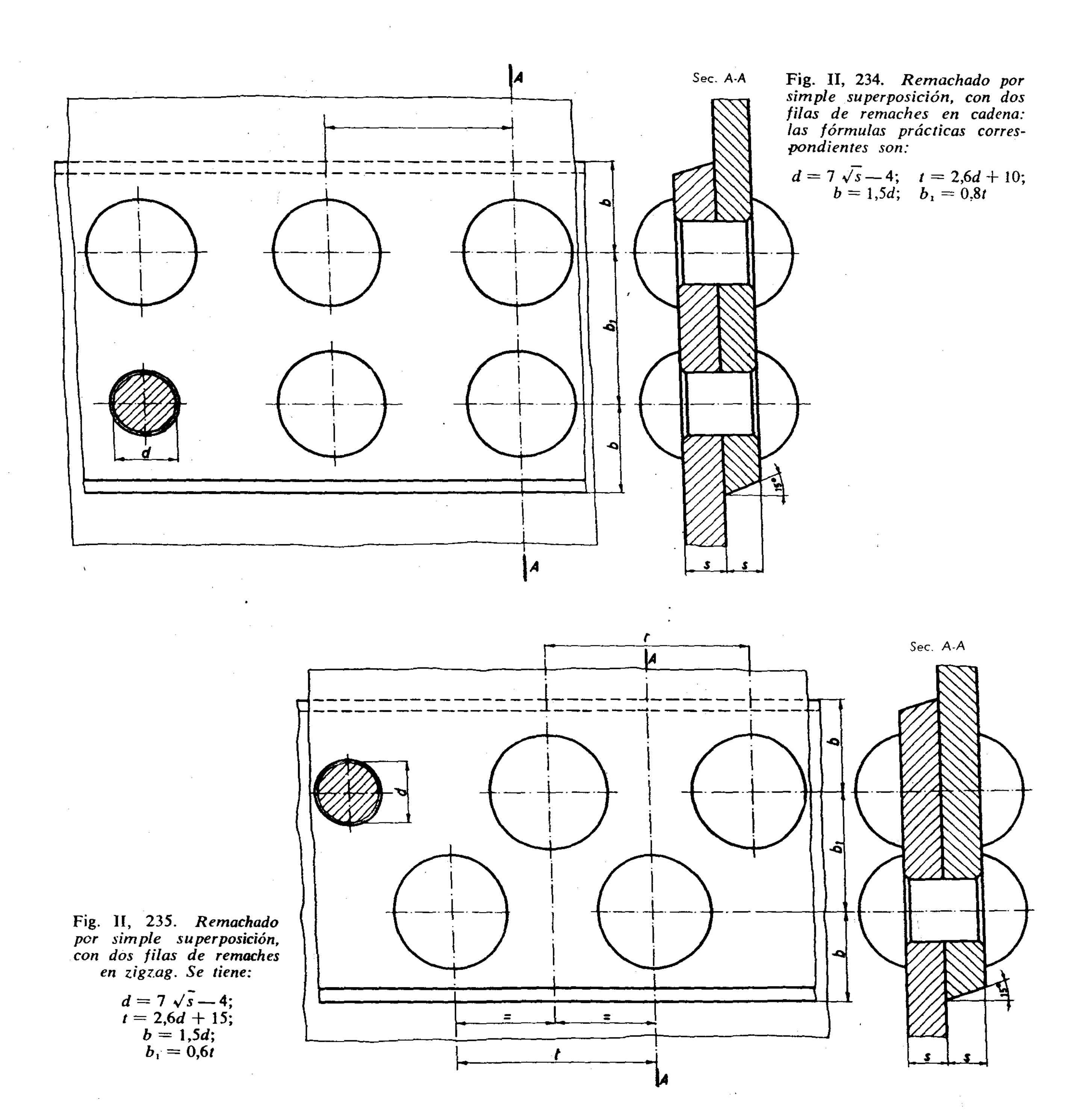


Fig. II, 234. *Remachado por simple superposición, con dos filas de remaches en cadena: las fórmulas prácticas correspondientes son:*

$d = 7\sqrt{s} - 4$; $t = 2{,}6d + 10$; $b = 1{,}5d$; $b_1 = 0{,}8t$

Fig. II, 235. *Remachado por simple superposición, con dos filas de remaches en zigzag. Se tiene:*

$d = 7\sqrt{s} - 4$; $t = 2{,}6d + 15$; $b = 1{,}5d$; $b_1 = 0{,}6t$

esfuerzos excesivos de una estructura roblonada, etc.) se produjese una rotura, se limite ésta a los roblones, sin desgarramiento del palastro.

A este criterio obedecen las fórmulas empíricas unificadas, que fijan las distancias entre roblones, entre las filas de los roblones (para roblonados de dos o tres filas) y la anchura del «labio» del roblonado.

Con la denominación de *labio del roblonado* se designa la porción de palastro comprendida entre su borde y el centro de la fila de roblones inmediata.

Todas las proporciones del roblonado (roblones, distancias, etc.), dependen del grueso de la plancha que se ha de roblonar, como se puede ver en las fórmulas de proporciones expuestas en las leyendas de los diferentes ejemplos de roblonado. Puede también, no obstante, ser conveniente tener una idea clara de la correspondencia de medidas entre la anchura del labio b y el diámetro d del roblón. Como norma se admite en las siguientes relaciones según el tipo de roblonado:

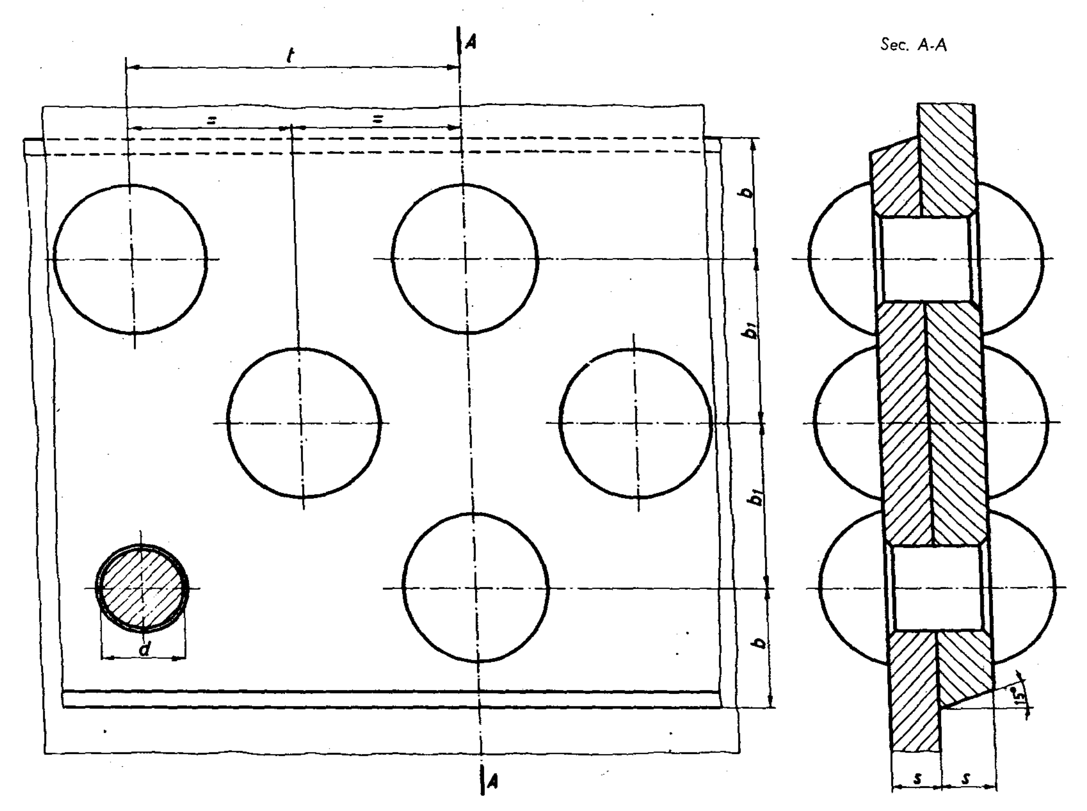


Fig. II, 236. *Remachado por simple superposición, con tres filas de remaches en zigzag. Se tiene:*

$d = 7\sqrt{s} - 4$; $t = 3d + 22$; $b = 1{,}5d$; $b_1 = 0{,}5t$

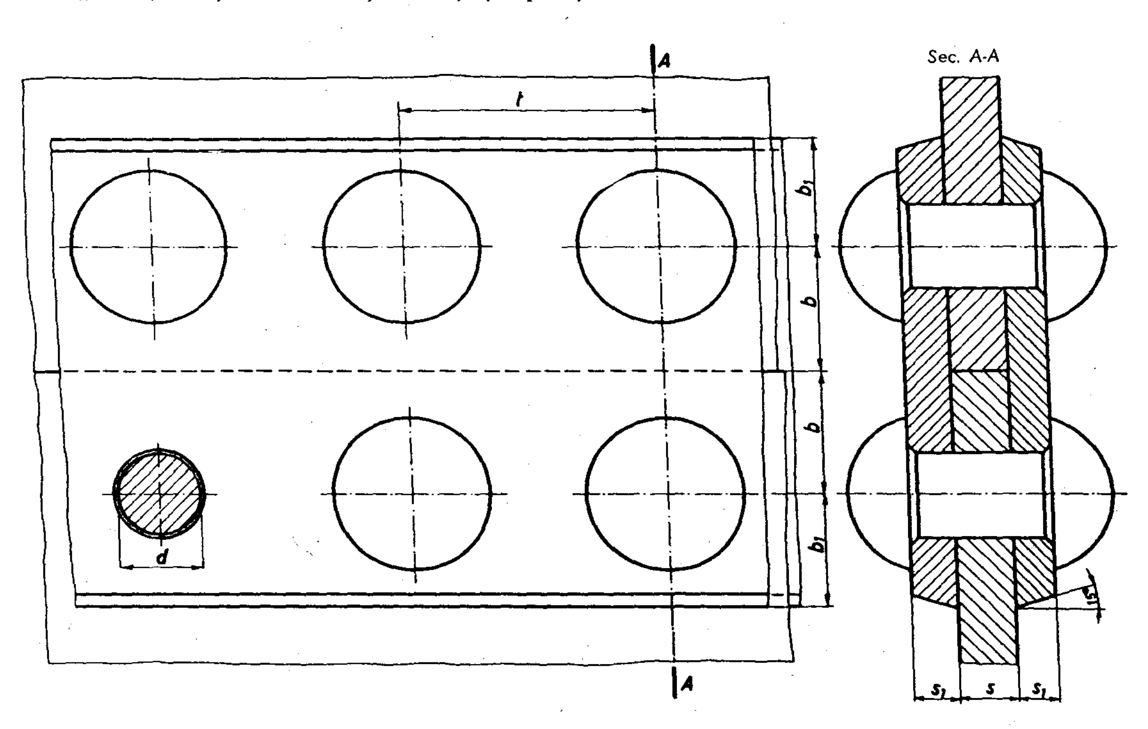


Fig. II, 237. *Remachado de doble cobrejuntas con una fila de remaches. Se tiene:*

$d = 7\sqrt{s} - 5$; $t = 2{,}6d + 10$; $b = 1{,}5d$; $b_1 = 0{,}9b = 1{,}35d$; $s_1 = 0{,}75s$

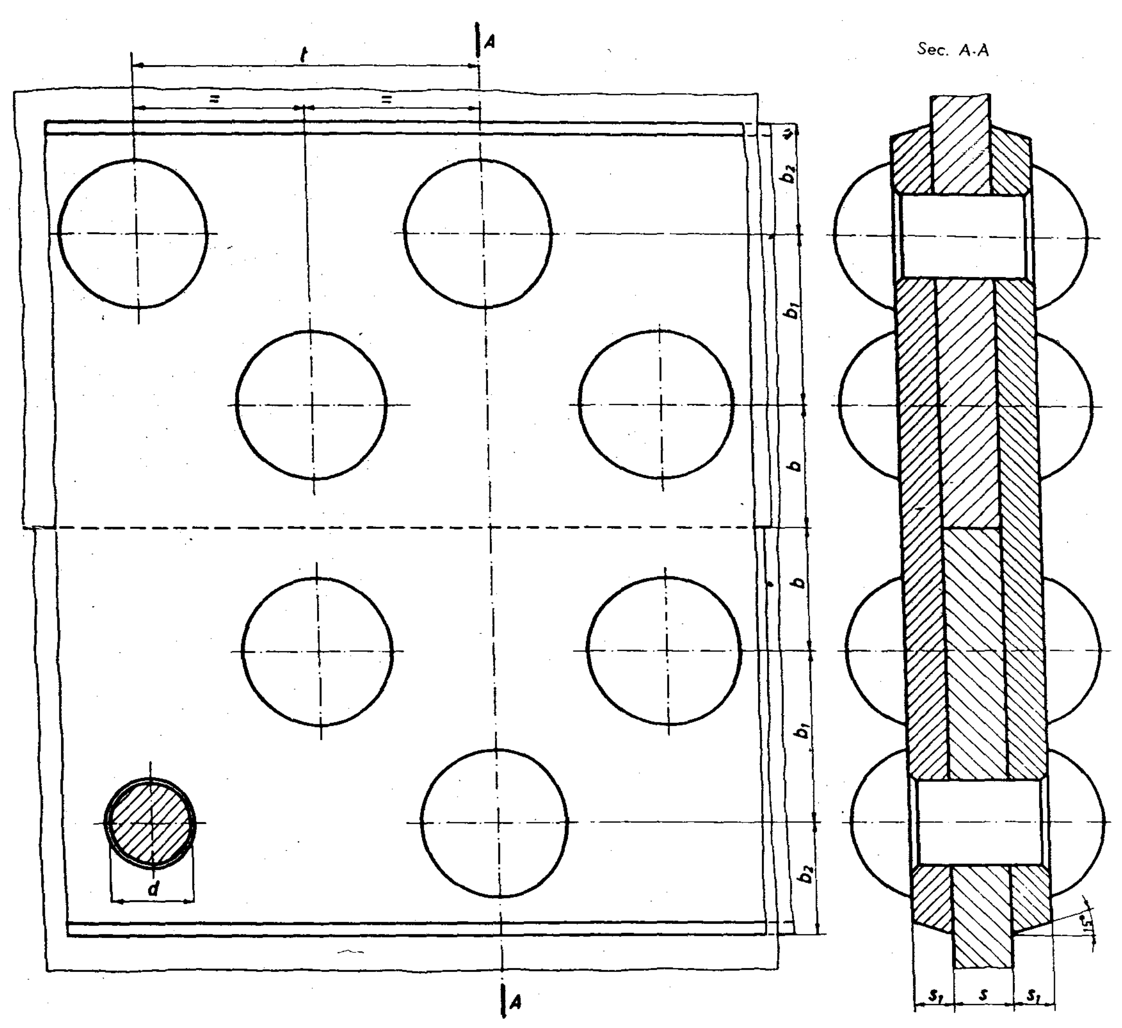


Fig. II, 238. *Remachado de doble cubrejuntas con dos filas de remaches en zigzag. Se tiene:*
$d = 7\sqrt{s} - 6$; $t = 3{,}5d + 15$; $b = 1{,}5d$; $b_1 = 0{,}5t$; $b_2 = 0{,}9b = 1{,}35d$; $s_1 = 0{,}75s$

$b = 1{,}5\ d$, para roblonados por simple superposición o a solape;

$b = 1{,}35\ d$, para roblonados con doble cubrejuntas.

Para roblonaduras de recipientes estancos no se pueden admitir para *b* valores mayores que los indicados, porque el remachado sería ineficaz. Para roblonaduras en que el cierre estanco no sea indispensable, se pueden adoptar mayores valores para *b*, pero no superiores a $1{,}7\ d$.

Los roblones que se han de remachar están unificados en numerosas tablas UNI, la primera de las cuales, n.° 133, presenta los diferentes tipos de roblones unificados, de que tratan las tablas siguientes:

a) *Roblones de cabeza redonda ancha* **(UNI 134),** indicados para recipientes estancos de presión.

b) *Roblones de cabeza redonda ancha con borde* **(UNI 135),** para los mismo usos.

c) *Roblones de cabeza estrecha* **(UNI 136),** apropiados para trabajos de construcciones metálicas, es decir, uniones de palastros y perfiles sin cierre.

d) *Roblones de cabeza troncocónica* **(UNI 137),** especiales para cascos de navíos, roblonados con agujeros taladrados.

e) *Roblones de cabeza troncocónica con cuello* **(UNI 138),** para los mismos usos, pero con agujeros punzonados.

f) *Roblones de cabeza embutida* **(UNI 139),**

g) *Roblones de cabeza en gota de sebo* **(UNI 140).**

En las tablas que siguen se transcriben las medidas unificadas de los roblones de los tipos seleccionados y las designaciones unificadas en los dibujos (tablas 26 y 27).

Para todos los tipos de roblones la designación se efectúa siempre del modo siguiente: diámetro *d*, longitud *l* y a continuación con la sigla UNI y el número de la tabla de unificación correspondiente.

Ejemplo: 16 × 55 UNI 139

El remachado, como ya se ha dicho, se efectúa de modo que resulte una segunda cabeza, de la mis-

Roblones de cabeza redonda ancha (UNI 134)

D ≃ (1,7 ÷ 1,8) d
h ≃ (0,7 ÷ 0,75) d
R ≃ (1 ÷ 0,9) d

Ejemplo de designación de un roblón de cabeza redonda ancha, de 16 mm de diámetro y 50 mm de largo:
16 × 50 UNI 134

Dimensiones en mm

d	D	h	R	r	l
8	15	6	8	1	de 10 a 50
10	18	7	9,5	1	» 12 » 60
13	23	9	12	1,5	» 16 » 80
16	30	12	15,5	2	» 22 » 100
19	35	14	18	2	» 28 » 120
22	40	16	21	2	» 35 » 140
25	45	18	23,5	2,5	» 38 » 155
28	50	20	26	2,5	» 45 » 170
31	55	22	28,5	3	» 48 » 175
34	60	24	31	3	» 50 » 180
37	65	26	33,5	4	» 55 » 190
40	70	28	36	4	» 60 » 195

Roblones de cabeza redonda ancha con borde (UNI 135)

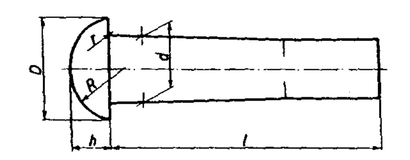
D ≃ (1,7 ÷ 1,8) d
h ≃ (0,70 ÷ 0,75) d
R ≃ (1 ÷ 0,9) d

Ejemplo de designación de un roblón de cabeza redonda ancha con borde, de 16 mm de diámetro y 50 mm de largo: **16 × 50 UNI 135**

Dimensiones en mm

d	D	h	R	D_1	f	r	l
8	14,5	6	8	17	1	1	de 10 a 50
10	17,5	7	9,5	21	1	1	» 12 » 60
13	22,5	9	12	26	1	1,5	» 16 » 80
16	29,5	12	15,5	34	1	2	» 22 » 100
19	34,5	14	18	39	1,5	2	» 28 » 120
22	39,5	16	21	44	1,5	2	» 35 » 140
25	44,5	18	23,5	50	1,5	2,5	» 38 » 155
28	49	20	26	55	2	2,5	» 45 » 170
31	54	22	28,5	60	2	3	» 48 » 175
34	59	24	31	65	2	3	» 50 » 180
37	64	26	33,5	70	2	4	» 55 » 190
40	69	28	36	75	2	4	» 60 » 195

Roblones de cabeza redonda estrecha (UNI 136)



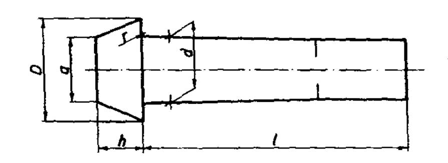
D ≃ 1,60 d
h ≃ 0,65 d
R ≃ 0,82 d

Ejemplo de designación de un roblón de cabeza redonda estrecha de 16 mm de diámetro y 50 mm de largo:
16 × 50 **UNI 136**

Dimensiones en mm

d	D	h	R	r	l
8	13	5,5	6,6	0,4	de 10 a 50
10	16	6,5	8,1	0,4	» 12 » 60
13	21	8,5	10,6	0,6	» 16 » 80
16	26	10,5	13,4	0,8	» 22 » 100
19	30	12	15,5	0,8	» 28 » 120
22	35	14	18	1	» 35 » 140
25	40	16	21	1	» 38 » 155
28	45	18	23,5	1	» 45 » 170
31	50	20	26	1,5	» 48 » 175
34	55	22	28,5	1,5	» 50 » 180
37	60	24	31	1,5	» 55 » 190
40	65	26	33,5	2	» 60 » 195

Roblones de cabeza troncocónica (UNI 137)



D ≃ 1,6 d
h ≃ 0,7 d
a = d.

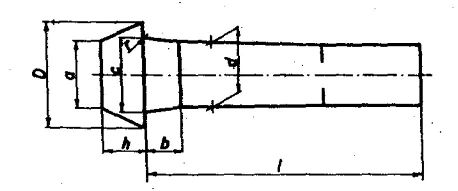
Ejemplo de designación de un roblón de cabeza troncocónica, de 16 mm de diámetro y 50 mm de largo:
16 × 50 **UNI 137**

Dimensiones en mm

d	D	h	a	r	l
8	13	5,5	8	0,4	de 10 a 50
10	16	7	10	0,4	» 12 » 60
13	21	9	13	0,6	» 16 » 80
16	26	11	16	0,8	» 22 » 100
19	30	13	19	0,8	» 28 » 120
22	35	15	22	1	» 35 » 140
25	40	17	25	1	» 38 » 155
28	45	19	28	1	» 45 » 170
31	50	21	31	1,5	» 48 » 175

Roblones de cabeza troncocónica con cuello (UNI 138)

D ≃ 1,6d
h ≃ 0,7d
a = d
b = 0,5d
c ≃ 1,1d

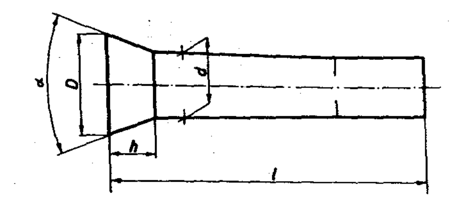


Ejemplo de designación de un roblón de cabeza troncocónica con cuello, de 16 mm de diámetro y 50 mm de largo:
16 × 50 UNI 138

Dimensiones en mm

d	D	h	a	b	c	r	l
8	13	5,5	8	4	9	0,4	de 10 a 50
10	16	7	10	5	11	0,4	» 12 » 60
13	21	9	13	6,5	14,5	0,6	» 16 » 80
16	26	11	16	8	17,5	0,8	» 22 » 100
19	30	13	19	9,5	21	0,8	» 28 » 120
22	35	15	22	11	24	1	» 35 » 140
25	40	17	25	12,5	27,5	1	» 38 » 155
28	45	19	28	14	31	1	» 45 » 170
31	50	21	31	15,5	34	1,5	» 48 » 175

Roblones de cabeza embutida (UNI 139)

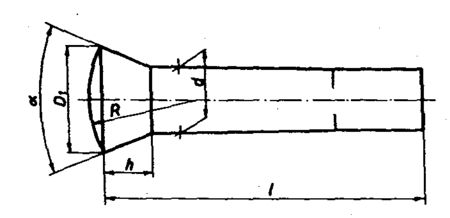


Ejemplo de designación de un roblón de cabeza embutida, de 16 mm de diámetro y 50 mm de largo:
16 × 50 UNI 139

Dimensiones en mm

d	D	h	α	l
8	13,5	2,75	90°	de 10 a 50
10	16	4	75°	» 12 » 60
13	21	5,2	75°	» 16 » 80
16	25	7,8	60°	» 22 » 100
19	31	10,5	60°	» 28 » 120
22	33,5	14	45°	» 35 » 140
25	38	16	45°	» 38 » 155
28	43,5	19	45°	» 45 » 170
31	49	22	45°	» 48 » 175
34	52	22	45°	» 50 » 180
37	55	22	45°	» 55 » 190
40	60	24	45°	» 60 » 195

Roblones de cabeza en gota de sebo (UNI 140)



Ejemplo de designación de un roblón de cabeza en gota de sebo, de 16 mm de diámetro y 50 mm de largo:
16 × 50 UNI 140

Dimensiones en mm

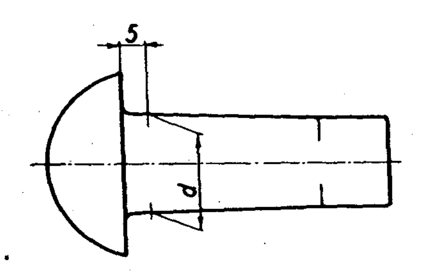
d	D_1	h	α	R	m	l
8	14,5	3,25	90°	18	1,5	de 10 a 50
10	17,5	5	75°	20	2	» 12 » 60
13	22,5	6,2	75°	26	2,5	» 16 » 80
16	26,5	9	60°	32	3	» 22 » 100
19	32,5	11,8	60°	40	3,5	» 28 » 120
22	34,5	15,5	45°	40	4	» 35 » 140
25	39	17,5	45°	50	4	» 38 » 155
28	45	21	45°	60	4	» 45 » 170
31	50,5	24	45°	72	4	» 48 » 175
34	54	24,5	45°	72	5	» 50 » 180
37	57	24,5	45°	85	5	» 55 » 190
40	62	26,5	45°	100	5	» 60 » 195

Tolerancias sobre el diámetro d:

Grupos de diámetros	de 8 a 13	más de 13 a 19	más de 19 a 25	más de 25
Tolerancias	+ 0,3 / − 0,2	+ 0,4 / − 0,2	+ 0,5 / − 0,2	+ 0,6 / − 0,3

Tolerancias sobre la longitud l:

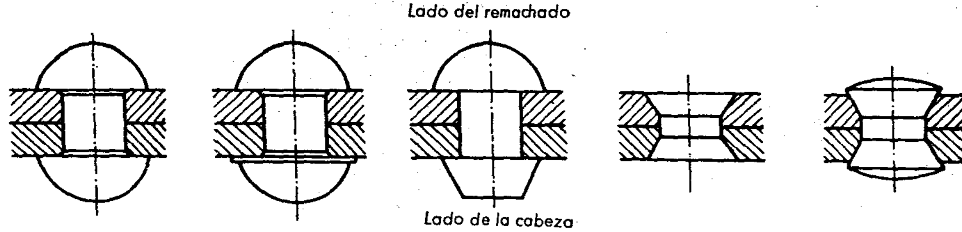
Grupos de longitud	hasta 20	más de 20
Tolerancias	0 / + 1	0 / + 2



El diámetro se entiende medido a 5 mm de la cabeza.

Para cada tipo de roblón se ha de indicar el material.

Fig. II, 239. *Remachado de los roblones: formas de las cabezas.*



ma forma, o a veces de forma diferente, que la primera (fig. II, 239).

Finalmente, en cuanto a la disposición de los roblones en las costuras, se pueden ver varios casos representados en las figuras 233-238. En las correspondientes leyendas se indican las cotas usadas corrientemente para las distancias indicadas en las mismas figuras.

48. Remaches

Como ya se ha dicho, los roblones de diámetro inferior a 8 mm, que se remachan en frío, se llaman remaches, o roblones para chapa. A ellos se refieren las tablas UNI del n.° 746 al 756. La tabla 746 clasifica los remaches unificados en los 9 tipos siguientes:

Remaches de cabeza redonda estrecha **(UNI 748).**
* *Remaches de cabeza redonda ancha* **(UNI 749).**
* *Remaches de cabeza redonda aplastada* **(UNI 750).**
* *Remaches de cabeza de hongo* **(UNI 751).**
Remaches de cabeza avellanada plana **(UNI 752).**
** *Remaches de cabeza redonda para correas* **(UNI 753).**
Remaches de cabeza en gota de sebo alta **(UNI 754).**
Remaches de cabeza en gota de sebo baja **(UNI 755).**
Remaches de cabeza cilíndrica **(UNI 756).**

La designación de los remaches en los dibujos se efectúa del modo ya indicado para los roblones.

En cuanto al material con que se construyen los remaches, se ha de tener presente que los señalados con * son adecuados para ser fabricados con material de peso específico inferior a 3 kg/dm³. Los remaches para correas ** se han de fabricar exclusivamente con materiales no férricos.

Para todos los remaches se ha de completar la designación con la indicación del material. Para los tipos marcados con * se ha de efectuar la indicación del material del modo que indica la figura II, 240.

Para todos los remaches se entiende que el diámetro *d* se mide a 1 mm de la cabeza. Únicamente para el tipo **UNI 750** esta norma vale hasta el diámetro de 6 mm inclusive; para diámetros mayores, la medida se toma a 5 mm de distancia de la cabeza.

En las tablas que siguen se han reunido los elementos fundamentales de las tablas UNI que se refieren a remaches (números 28-30).

En las figuras de la 241 a la 246 se reproducen los dibujos de algunas aplicaciones de roblonados.

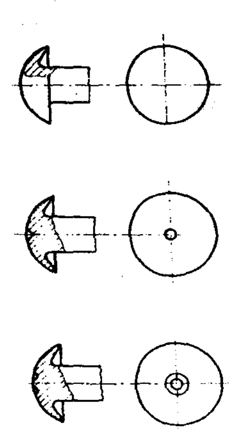
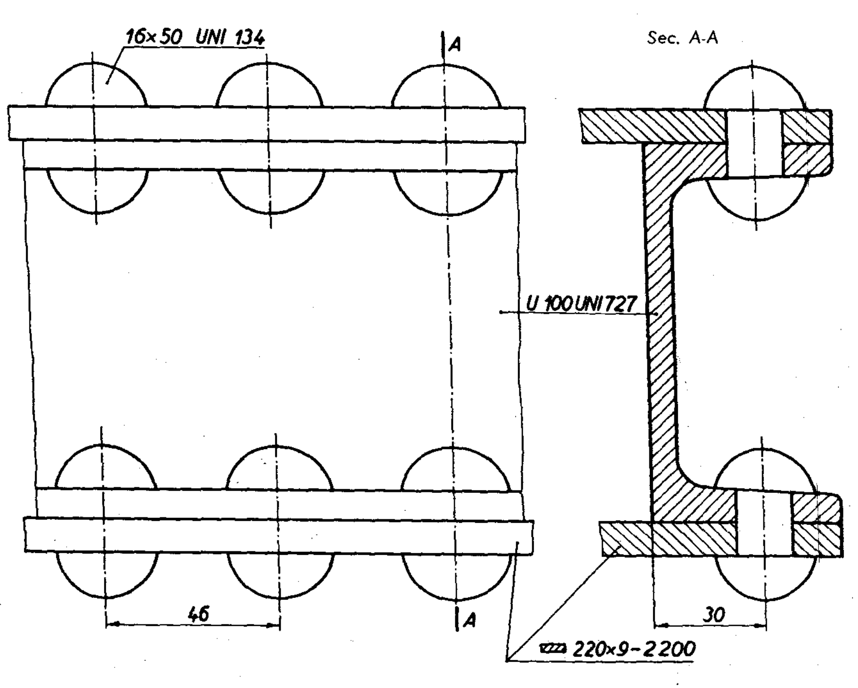


Fig. II, 240. *Designación de los materiales de los remaches:* a) sin contraseña: *aluminio puro;* b) con impresión cónica en el centro de la cabeza: *aleación ligera que exige tratamiento térmico antes de su uso;* c) con impresión anular en el centro de la cabeza: *aleación ligera que no requiere tratamiento térmico antes de su empleo.*

Fig. II, 241. *Unión de un perfil en* U *con dos planchas de palastro.*



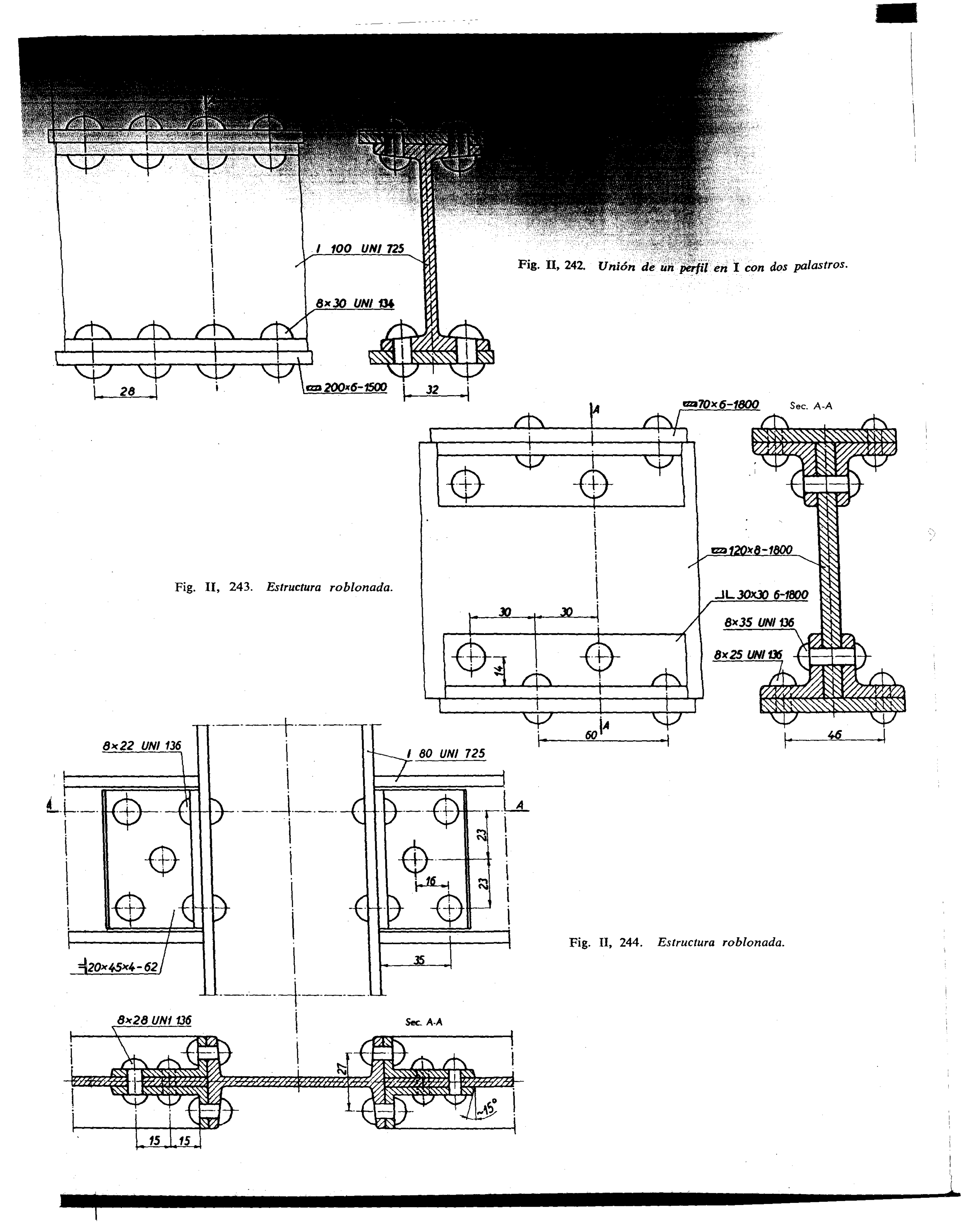


Fig. II, 242. *Unión de un perfil en I con dos palastros.*

Fig. II, 243. *Estructura roblonada.*

Fig. II, 244. *Estructura roblonada.*

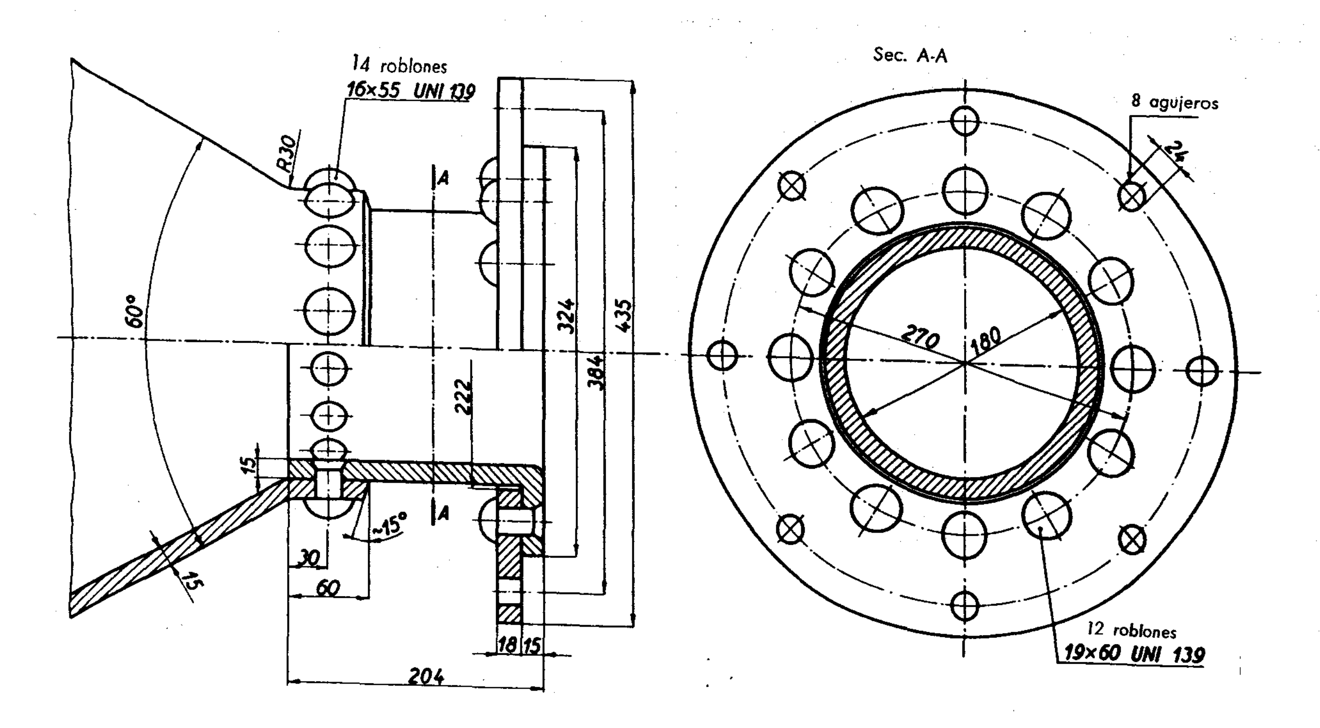


Fig. II, 245. *Detalles de una estructura con collarín y brida roblonados.*

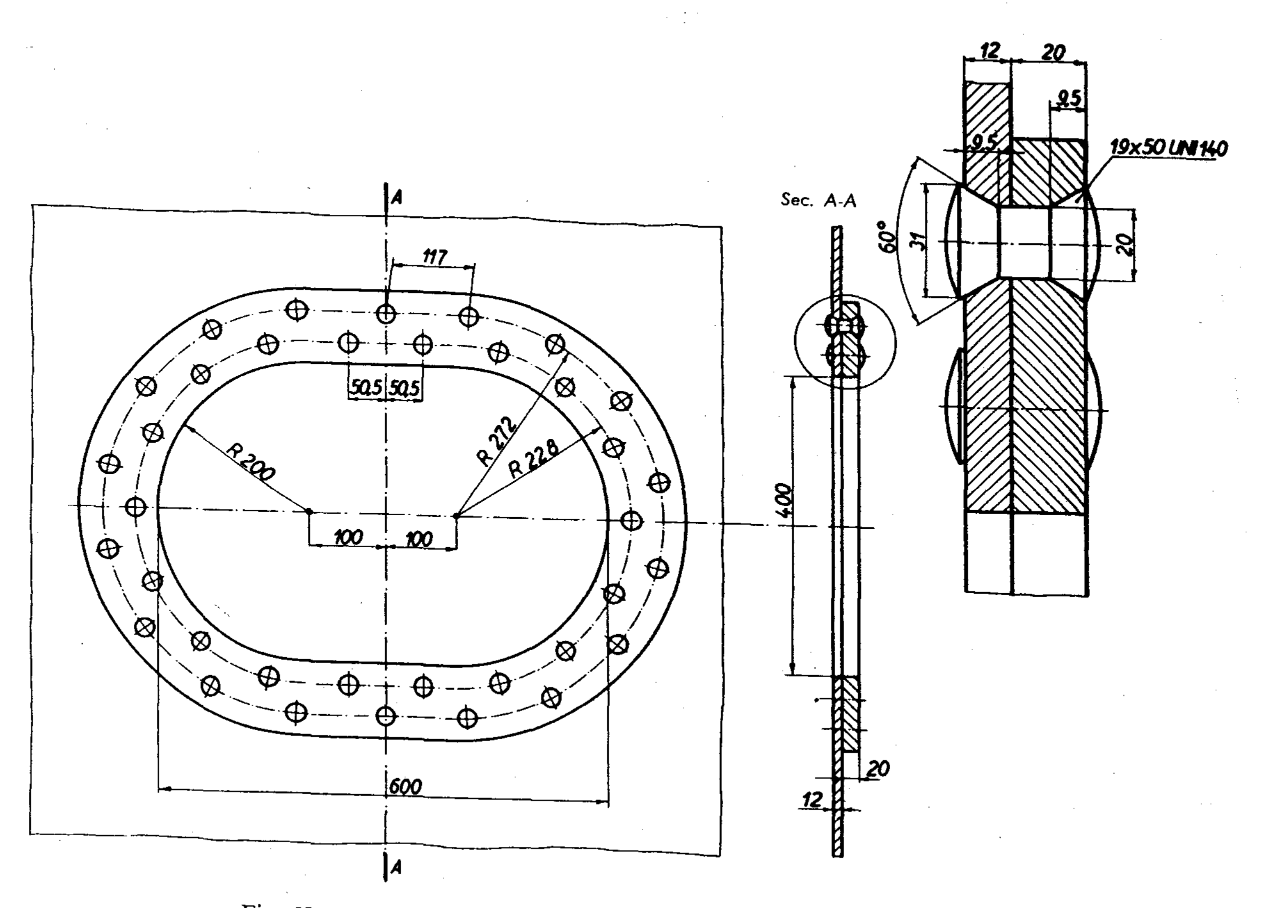
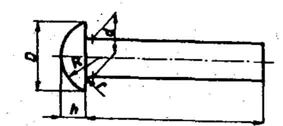


Fig. II, 246. *Agujero de hombre para caldera, con detalle del roblonado.*

Remaches de cabeza redonda estrecha (De la tabla UNI 748)

D ≃ 1,75 d
h ≃ 0,6 d
R ≃ d



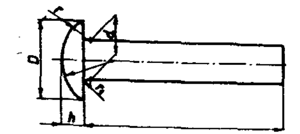
Ejemplo de designación de un remache de cabeza redonda estrecha, que tiene d = 3 mm y l = 10 mm:
3 × 10 UNI 748

Dimensiones en mm

d	l	D	h	R	r
0,8	de 2 a 3,5	1,4	0,5	0,8	—
1	» 2 » 3,5	1,8	0,6	1	—
1,2	» 2,5 » 5	2,1	0,7	1,25	—
1,4	» 2,5 » 8	2,5	0,8	1,4	—
1,7	» 3 » 10	3	1	1,6	—
2	» 3 » 16	3,5	1,2	1,9	—
2,3	» 3 » 18	4	1,4	2,1	—
2,6	» 3 » 20	4,6	1,6	2,4	—
3	» 4 » 25	5,3	1,8	2,8	0,2
3,5	» 6 » 28	6,3	2,1	3,4	0,2
4	» 6 » 32	7,1	2,4	3,8	0,2
5	» 8 » 40	8,8	3	4,8	0,2
6	» 10 » 48	10,5	3,6	5,7	0,5

Remaches de cabeza redonda ancha (De la tabla UNI 749)

D ≃ 2 d
h ≃ 0,6 d
R ≃ 1,3 d
r ≃ 0,6 d



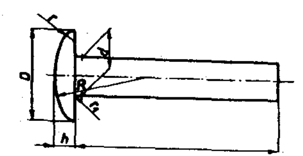
Ejemplo de designación de un remache de cabeza redonda ancha, que tiene d = 3 mm y l = 10 mm:
3 × 10 UNI 749

Dimensiones en mm

d	l	D	h	R	r	r_1
1	de 2 a 3,5	2	0,6	1,3	0,6	—
1,2	» 2,5 » 5	2,5	0,7	1,5	0,7	—
1,4	» 2,5 » 8	2,8	0,8	1,8	0,8	—
1,7	» 3 » 10	3,5	1	2,2	1	—
2	» 3 » 16	4	1,2	2,6	1,2	—
2,3	» 3 » 18	4,5	1,4	3	1,4	—
2,6	» 3 » 20	5,2	1,6	3,5	1,6	—
3	» 4 » 25	6	1,8	4	1,8	0,2
3,5	» 6 » 28	7	2,1	4,5	2,1	0,2
4	» 6 » 32	8	2,4	5,2	2,4	0,2
5	» 8 » 40	10	3	6,5	3	0,2
6	» 10 » 48	12	3,6	7,8	3,6	0,5

Remaches de cabeza redonda baja (De la tabla UNI 750)

D ≃ 2,3 d
h ≃ 0,5 d
R ≃ 2,2 d
r ≃ 0,3 d



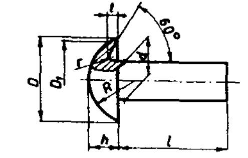
Ejemplo de designación de un remache de cabeza redonda baja, que tiene d = 3 mm y l = 10 mm:
3 × 10 UNI 750

Dimensiones en mm

d	l	D	h	R	r	r_1
1	de 2 a 3,5	2,3	0,5	2,3	0,3	—
1,2	» 2,5 » 5	2,8	0,6	2,7	0,35	—
1,4	» 2,5 » 8	3,2	0,7	3,1	0,4	—
1,7	» 3 » 10	3,9	0,9	3,7	0,5	—
2	» 3 » 16	4,6	1	4,4	0,6	—
2,3	» 3 » 18	5,3	1,2	5	0,7	—
2,6	» 3 » 20	6	1,3	5,7	0,8	—
3	» 4 » 25	7	1,5	6,6	0,9	0,2
3,5	» 6 » 28	8	1,8	7,7	1,1	0,2
4	» 6 » 32	9,2	2	8,8	1,2	0,2
5	» 8 » 40	11,5	2,5	11	1,5	0,2
6	» 10 » 48	13,8	3	13,2	1,8	0,5
8	» 10 » 65	18,5	4	17,6	2,4	0,5
10	» 12 » 80	23	5	22	3	0,5

Remaches de cabeza redonda de hongo (De la tabla UNI 751)

D ≃ (2,6 ÷ 2,1) d
h ≃ (0,9 ÷ 0,7) d
R ≃ (1,4 ÷ 1,14) d

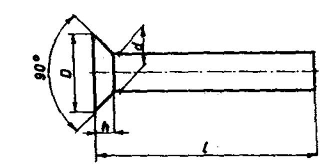


Ejemplo de designación de un remache de cabeza redonda de hongo, que tiene d = 3 mm y l = 6 mm:
3 × 6 UNI 751

Dimensiones en mm

d	l	D	D_1	h	R	r	t
2	de 3,5 a 7	5,2	4,7	1,8	2,8	0,2	0,6
2,3	» 3,5 » 8	5,5	5	2	3	0,2	0,6
2,6	» 3,5 » 8	6	5,5	2,1	3,2	0,2	0,7
3	» 4 » 9	7	6,5	2,5	3,7	0,3	0,8
3,5	» 4,5 » 10	8	7,5	2,8	4,3	0,3	0,9
4	» 5 » 12	8,8	8,3	3	4,8	0,4	0,9
5	» 6 » 14	10,5	10	3,6	5,7	0,4	1,1

Remaches de cabeza embutida (De la tabla UNI 752)



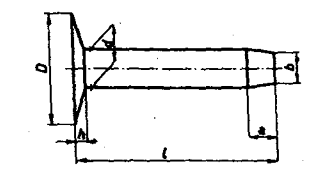
D ≃ 2 d
h ≃ 0,5 d

Ejemplo de designación de un remache de cabeza embutida, que tiene d=3 mm y l=10 mm:
3 × 10 UNI 752

Dimensiones en mm

d	l	D	h
1	de 2 a 3,5	2	0,5
1,2	» 2,5 » 5	2,4	0,6
1,4	» 2,5 » 8	2,8	0,7
1,7	» 3 » 10	3,5	0,9
2	» 3 » 16	4	1
2,3	» 3 » 18	4,5	1,1
2,6	» 3 » 20	5,2	1,3
3	» 4 » 25	6	1,5
3,5	» 6 » 28	7,1	1,8
4	» 6 » 32	8	2
5	» 8 » 40	10	2,5
6	» 10 » 48	12	3

Remaches para correas (De la tabla UNI 753)



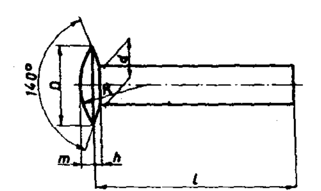
D ≃ 2,8 d
h ≃ 0,3 d
a ≃ 0,7 d
b ≃ (0,6 ÷ 0,8) d

Ejemplo de designación de un remache para correas, que tiene d=3 mm y l=10 mm:
3 × 10 UNI 753

Dimensiones en mm

d	l	D	h	a	b
2,6	de 6 a 10	7,3	0,8	1,9	1,6
3	» 6 » 14	8,4	0,9	2,1	2
3,5	» 8 » 20	9,8	1,1	2,5	2,5
4	» 10 » 25	11,2	1,2	2,8	3
5	» 10 » 30	14	1,5	3,5	4
6	» 14 » 35	16,8	1,8	4,2	4,8

Remaches de cabeza en gota de sebo alta (De la tabla UNI 754)



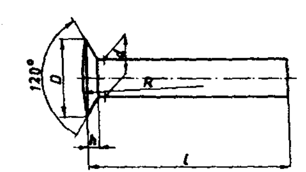
D ≃ 2 d
h ≃ 0,18 d
m ≃ 0.35 d
R ≃ 1,6 d

Ejemplo de designación de un remache de cabeza en gota de sebo que tiene d=3 mm y l=10 mm:
3 × 10 UNI 754

Dimensiones en mm

d	l	D	h	m	R
1	de 2 a 3,5	2	0,18	0,35	1,6
1,2	» 2,5 » 5	2,5	0,2	0,4	2
1,4	» 2,5 » 8	2,8	0,25	0,5	2,2
1.7	» 3 » 10	3,5	0,3	0,6	2,7
2	» 3 » 16	4	0,35	0,7	3,2
2,3	» 3 » 18	4,5	0,4	0,8	3,7
2,6	» 3 » 20	5,2	0,45	0,9	4,2
3	» 4 » 25	6	0,55	1	5
3,5	» 6 » 28	7	0,65	1,2	5,7
4	» 6 » 32	8	0,75	1,4	6,4
5	» 8 » 40	10	0,9	1,7	8,2
6	» 10 » 48	12	1,1	2,1	10

Remaches de cabeza en gota de sebo baja (De la tabla UNI 755)

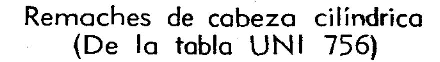


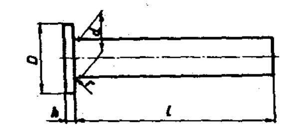
D ≃ (2,4 ÷ 1,9) d
h ≃ (0,4 ÷ 0,25) d

Ejemplo de designación de un remache en cabeza de gota de sebo baja, que tiene d=3 mm y l=10 mm:
3 × 10 UNI 755

Dimensiones en mm

d	l	D	h	R
2	de 3,5 a 10	4,8	0,8	20
2,3	» 3,5 » 10	5,2	0,85	22
2,6	» 4 » 12	5,7	0,9	25
3	» 4,5 » 14	6,5	1	25
3,5	» 6 » 18	7,3	1,1	30
4	» 6 » 20	8,2	1,2	30
5	» 8 » 25	9,9	1,4	35
6	» 10 » 30	11,6	1,6	40
8	» 12 » 40	15	2	50


Remaches de cabeza cilíndrica
(De la tabla UNI 756)



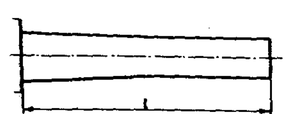
D ≃ 1,75 d
h ≃ (0,4 ÷ 0,3) d

Ejemplo de designación de un remache de cabeza cilíndrica, que tiene d = 3 mm y l = 10 mm:
3 × 10 UNI 756

Dimensiones en mm

d	l	D	h	r
1	de 2 a 3.5	1,8	0,4	—
1,2	» 2,5 » 5	2,1	0,4	—
1,4	» 2,5 » 8	2,5	0,5	—
1,7	» 3 » 10	3	0,6	—
2	» 3 » 16	3,5	0,7	—
2,3	» 3 » 18	4	0,8	—
2,6	» 3 » 20	4,6	0,8	—
3	» 4 » 25	5,3	0,9	0,2
3,5	» 6 » 28	6,3	1,1	0,2
4	» 6 » 32	7,1	1,2	0,2
5	» 8 » 40	8,8	1,5	0,2
6	» 10 » 48	10,5	1,8	0,5
8	» 10 » 65	14	2,4	0,5
10	» 12 » 80	17,5	3	0,5

Longitudes de vástago para remaches y roblones de remachado



Serie de longitudes en mm

2 - 2,5 - 3 - 3,5 - 4 - 4,5 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 12 - 14 - 16 - 18 - 20 - 22 - 25 - 28 - 30 - 32 - 35 - 38 - 40 - 42 - 45 - 48 - 50 - 55 - 60 - 65 - 70 - 75 - 80 - 85 - 90 - 95 - 100 - 105 - 110 - 115 - 120 - 125 - 130 - 135 - 140 - 145 - 150 - 155 - 160 - 165 - 170 - 175 - 180 - 185 - 190 - 195 - 200 - 205 - 210 - 215 - 220.

49. La soldadura

Como ya se ha dicho, la soldadura ha alcanzado en estos últimos decenios una importancia y un desarrollo sin precedentes; además de suplantar casi por completo el remachado, ha encontrado aplicación en muchísimos otros campos de construcciones mecánicas. Así, por ejemplo, se construyen actualmente por medio de partes soldadas muchísimas piezas que, contrariamente exigirían para su construcción complicadísimas operaciones de forja y estampación, o bien largos y carísimos mecanizados con máquinas herramientas; en este y otros campos afines, la soldadura, que en la actualidad puede garantizar una resistencia de cohesión igual o aun superior a la que resultaba para dichos órganos cuando se fabricaban de una sola pieza, se ha revelado como un método constructivo insustituible y más económico además en comparación con los otros procedimientos.

La clasificación de los procesos de soldadura, la nomenclatura y las definiciones relativas a las uniones y formas de las soldaduras se han unificado en las tablas **UNI 1307-1309**; estas unificaciones concuerdan con los trabajos del **ISO**. De éste se ha resumido cuanto puede interesar al dibujante.

La definición unificada de soldadura es la siguiente: «Por soldadura se entiende el proceso mediante el cual se efectúa la unión de piezas metálicas por la acción del calor, con o sin el empleo de materiales metálicos, de modo que en los puntos de unión se realice la continuidad entre dichas piezas.» En la práctica, se entiende también por la palabra soldadura la zona en que tiene lugar la unión de las piezas.

50. Clasificación de las soldaduras

La clasificación de las soldaduras se ha reunido, para comodidad, en la tabla que sigue (núm. 31).

51. Uniones soldadas

Según la posición recíproca de las piezas unidas mediante soldadura, la tabla **UNI 1307-1309** especifica 6 tipos distintos de uniones, que, para mayor claridad,

Tabla 31

<table>
<tr><th colspan="3">PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA</th></tr>
<tr><td rowspan="5">Soldaduras por fusión (vulgarmente llamadas autógenas). La unión se produce, con o sin material adicional, por efecto de la fusión localizada de los bordes de las piezas que se han de soldar.</td><td colspan="2">Soldadura por gas. El calor necesario se produce por la combustión de un gas (acetileno, hidrógeno, etc.). La unión se efectúa generalmente con material adicional, en forma de alambre o varilla.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Soldadura por arco. El calor necesario lo produce un arco voltaico establecido entre la pieza que se suelda y un electrodo. Se puede tener:</td><td>a) Soldadura con electrodo metálico: éste, al fundirse, suministra el material adicional.</td></tr>
<tr><td>b) Soldadura con electrodo de carbón. El material adicional eventual lo proporciona la fusión, originada por el mismo arco, de alambres o varillas. El metal en fusión puede estar o no cubierto por un gas de protección.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Soldadura en hidrógeno atómico (Arcatom). El calor necesario para la fusión lo proporciona un arco voltaico, que salta entre electrodos metálicos de elevado punto de fusión, en atmósfera de hidrógeno. Generalmente la unión se efectúa con material adicional.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Soldadura por termita. El calor necesario lo produce la reacción química exotérmica, provocada entre aluminio y óxido de hierro, componentes de la «termita». El material adicional es el hierro fundido resultante.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Soldadura por presión. Las piezas, calentadas localmente hasta llegar al estado pastoso o aun de fusión, se unen mediante presión mecánica o de percusión. Generalmente no se emplean materiales adicionales.</td><td colspan="2">Soldadura por fuego (forja, soldadura por gas de agua, etc.). Las piezas que se calientan a la temperatura necesaria por medio de fragua, horno o adecuados quemadores de gas de agua u otro gas, se unen mediante martilleo o presión mecánica.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Soldadura por resistencia. El calor necesario lo produce la resistencia óhmica que se opone al paso de una corriente eléctrica a través de las superficies de contacto de las piezas que se han de soldar.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Soldadura por chispa. El calor necesario se produce por los arcos voltaicos que saltan entre los bordes encerrados de las piezas que se han de soldar. Es una soldadura a tope.</td></tr>
<tr><td colspan="3">Soldadura fuerte. La unión se efectúa de modo semejante al de la soldadura por gas, pero sin que los bordes que se han de unir lleguen a fundirse, empleando un material adicional distinto del material base y que tenga un punto de fusión más bajo que este material.

Soldadura por caldeo. La unión se obtiene generalmente por infiltración, entre las superficies superpuestas de las piezas que se han de unir, de un material metálico que funde por el calentamiento de dichas superficies. Este procedimiento se distingue, según que el material tenga un punto de fusión más o menos elevado, en soldadura fuerte y soldadura dulce.</td></tr>
</table>

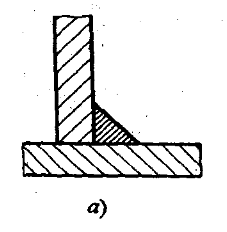
se representan en la tabla 32, primero en axonometría y después esquemáticamente, según las normas **UNI**.

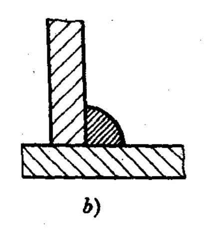
En esta última representación se señalan con zonas rayadas aquellas en que se efectúan algunas de las formas más corrientes de soldadura por fusión, apropiadas para realizar la unión de piezas que tengan la posición recíproca indicada en la figura.

52. Formas diversas de soldadura y modo de representarlas en los dibujos

En primer lugar, considerando su superficie exterior, se dividen las soldaduras o cordones en:

a) *cordón plano* (fig. II, 247 *a*);
b) *cordón reforzado* (fig. II, 247 *b*);
c) *cordón aligerado* (fig. II, 247 *c*).


a)


b)

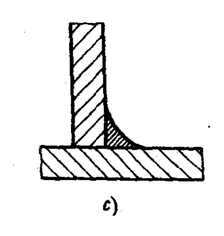

c)

Fig. II, 247. *Clasificación de las soldaduras según la forma de la superficie exterior:* a) plana; b) reforzada; c) aligerada (*).

* En italiano se denominan, respectivamente, plana, convexa y cóncava. *N. del T.*

Tabla 32

Tipos de unión	Representación axonométrica	Representación esquemática
Unión a tope		
Unión angular exterior		
Unión de borde		
Unión en L		
Unión en T		
Unión a solape		

Secciones típicas, representaciones y símbolos de las soldaduras por fusión

Tabla 33

Sección típica			Representación axonométrica	Representación esquemática	Símbolos de las formas unificadas: Fundamentales	Reforzadas	Planas	Aligeradas
Soldadura en borde							—	—
SOLDADURA DE UN VÉRTICE	Soldadura en I	sencilla						
		con refuerzo en el revés						
	Soldadura en V	sencilla						—
		con refuerzo en el revés						—
	Soldadura en U	sencilla						—
		con refuerzo en el revés						—
	Soldadura en 1/2 V	sencilla						
		con refuerzo en el revés						
	Soldadura en J	sencilla						
		con refuerzo en el revés						

Secciones típicas, representaciones y símbolos de las soldaduras por fusión

Tabla 34

Sección típica		Representación axonométrica	Representación esquemática	Símbolos de las formas unificadas			
				Fundamentales	Reforzadas	Planas	Aligeradas
Soldaduras de vértices opuestos	Soldadura en X						—
	Soldadura en doble U						—
	Soldadura en K						
	Soldadura en doble J						
Soldadura sobre tres chapas							—
Soldadura en ángulo	sencilla						
	Con refuerzo en el revés						
Soldadura en ángulo simétrico							
Soldadura dentro de agujeros y de ranuras	de lados rectos						
	de lados avellanados						

En las tablas **UNI 1307-1309** se subdividen las soldaduras, desde el punto de vista de las secciones típicas, en numerosos tipos; en las tablas 1310-1318 se continúa esta materia para indicar los símbolos o signos gráficos que corresponden a las diferentes secciones típicas. Para aclarar la clasificación y facilitar el conocimiento de los signos gráficos, se han reunido en dos tablas (33 y 34) las representaciones axonométricas y esquemáticas y los símbolos o signos gráficos correspondientes a las diferentes secciones típicas. Se hace notar expresamente que los esquemas indicados se refieren exclusivamente a las secciones típicas de la soldadura y no al tipo de unión. Así, por ejemplo, se indican como soldadura en 1/2 V, dos soldaduras que, desde el punto de vista de la unión (pero no de la sección de soldadura) podrían considerarse como soldaduras en ángulo.

Las soldaduras pueden también considerarse desde el punto de vista de la continuidad: se distinguen, en efecto (tabla 35):

a) *cordón continuo,* que no presenta interrupción en toda la longitud de la línea de costura;

b) *cordón interrumpido* (o de trazos), formado por trazos de costura uniformemente separados por intervalos no soldados.

Las definiciones correspondientes a las soldaduras continuas e interrumpidas se representan gráficamente en la pequeña tabla 35. En ella se ve que dos piezas pueden soldarse por cordón angular en un lado (figs. *a* y *b*) o bien con cordón angular en dos lados (figs. *c* y *d*). En el caso de cordones interrumpidos, los trazos pueden estar opuestos (o en cadena) (fig. *c*) o en zigzag (fig. *d*).

En la tabla 36 están reunidos los símbolos y las representaciones axonométricas y esquemáticas de las soldaduras distintas de las ya consideradas con fusión.

Tabla 35

Cordones continuos e interrumpidos		
	Representación axonométrica	Representación esquemática vista en planta
Cordón continuo	*a)*	Longitud total
Cordón interrumpido a un lado	*b)*	Paso
Cordón interrumpido en cadena	*c)*	Longitud de las costuras
Cordón interrumpido en zig-zag	*d)*	Intervalo

53. Designaciones de las soldaduras en los dibujos

Las soldaduras en las que no es preciso indicar el procedimiento ni la forma ni las dimensiones, se indican con el símbolo **S** puesto sobre un trazo de referencia, como indica la **figura** II, 248.

Pero cuando se ha de designar la soldadura de un modo completo, deberán indicarse, correlativamente:

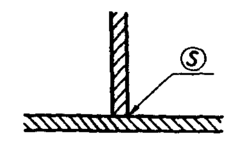


Fig. II, 248. *Designación indeterminada de soldadura, en la que no se señalan ni el procedimiento ni la forma ni las dimensiones.*

a) *El símbolo que caracteriza la forma de la sección típica y la forma exterior del cordón,* deducidos de las tablas 33, 34, 36 y de la pequeña tabla 37.

b) *Las indicaciones numéricas de las dimensiones de la soldadura.*

c) *El símbolo lateral que indique el procedimiento de la soldadura,* cuando éste no esté consignado con precisión de otro modo. Los símbolos empleados son los que siguen:

Soldaduras por fusión { *por gas* **G**; *por arco* **E**; *en hidrógeno atómico* **H**

Tabla 36

Soldaduras por presión					
Soldaduras			Símbolos	Representación axonométrica	Representación esquemática
A tope (signo fundamental) ‖		por chispa	⊐⊏		
		por resistencia	⊐⊏		
A solape (signo fundamental) ○	Por resistencia	por puntos en serie **n** puntos de diámetro **d** con paso **e** (puede omitirse **n**)	○		○d-nxe
		por puntos en cadena **n** puntos de diámetro **d** en dos filas a distancia **e**₁ con paso **e**	○		○d-nxe/e₁
		por puntos en zigzag **n** puntos de diámetro **d** en dos filas a distancia **e**₁ con paso **e**	○		○d-nxeZe₁
		por puntos prefijados **n** puntos de diámetro **d** con paso **e**	◉		◉d-nxe
		continua	⊖		
		interrumpida **n** costuras de longitud **L** con paso **e**	⊖		⊖L-nxe
	A tope (por fuego) soldado	preparada por superposición	⊖	preparado / soldado	
		preparada por achaflanado (al fuego)	Ø		ØF

Tabla 37

SÍMBOLOS CON INDICACIONES ADICIONALES PARA SOLDADURAS ESPECIALES			
Para las soldaduras en I y en ángulo que se ejecutan tanto continuas como interrumpidas, se añade al símbolo un trazo horizontal que lo atraviesa, cuando se trata de soldadura continua.			
Las soldaduras con cordón de refuerzo en el revés y las soldaduras de vértices opuestos pueden tener las dos superficies exteriores de forma diferente (plana, reforzada, aligerada): en tal caso se representa cada superficie con el correspondiente signo complementario.			
Las soldaduras que se han de ejecutar durante la colocación en la obra, se indican añadiendo al símbolo una banderita.			

Soldaduras por presión { *por fuego* **F**; *por resistencia* **R**

Soldadura fuerte **SB**

Soldadura por caldeo **B**

No hay otros símbolos unificados.

En la pequeña tabla 37 se han indicado varios signos gráficos y símbolos correspondientes a la forma de ejecución de las soldaduras especiales.

d) *Otras indicaciones eventuales* relativas a la posición de ejecución o a la dirección de la soldadura, al material adicional, etcétera.

Estas indicaciones se han de poner:

a) *Sobre el trazo de referencia*, cuando la soldadura deba efectuarse toda o en su mayor parte, visible (*soldadura anterior*) (fig. II, 249) o cuando la soldadura es simétrica en su parte visible y en la parte oculta (*soldadura simétrica*).

b) *Debajo del trazo de referencia*, cuando la soldadura se ha de efectuar toda o en su mayor parte en la parte opuesta (*soldadura posterior*) (véase el ejemplo reproducido en la figura II, 257).

Para las soldaduras representadas en sección o de perfil, la designación puede colocarse a la izquierda o a la derecha de la pieza, de modo que se indique el lado en que se ha de hacer la soldadura.

54 Indicaciones numéricas

Las indicaciones numéricas unificadas que se han de poner en los dibujos para señalar completamente desde el punto de vista de las dimensiones las soldaduras son las siguientes:

1) **Soldaduras en borde; soldaduras en vértice; soldaduras en vértices opuestos:**

a) *Cordón continuo.* Se han de indicar el espesor **a** y la longitud **L** separados por un guión; o sea, **a-L.** En el ejemplo $a = 3$ mm; $L = 1000$ mm (fig. II, 249).

El espesor de la soldadura se señala en los diferentes casos como indican las figuras II, 250, *a, b, c, d, e*. Si las soldaduras son a vértices opuestos y asimétricos, se dan los valores de las dos profundidades de soldadura (fig. II, 250 *f, g*).

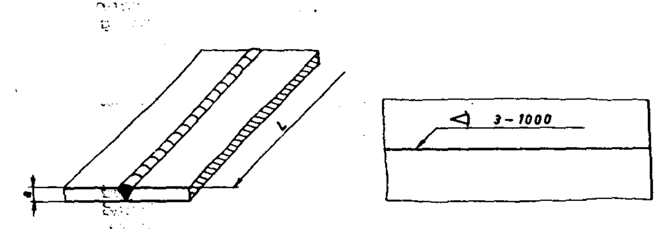
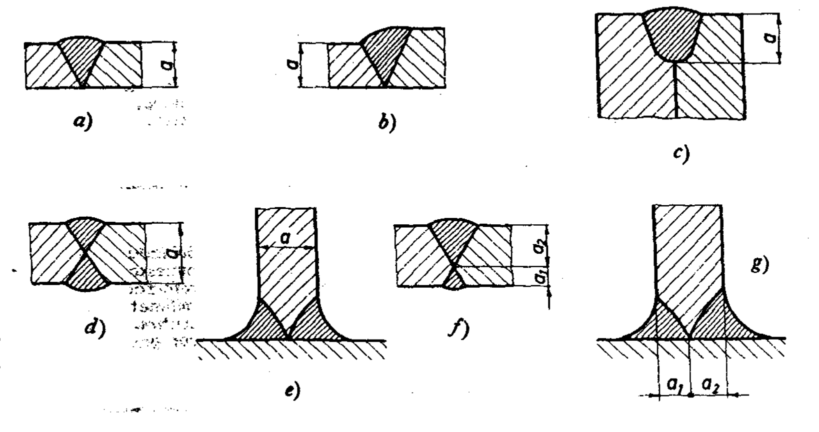


Fig. II, 249. *Cuando se ha de efectuar la soldadura, toda o en su mayor parte en vista (soldadura anterior), las indicaciones relativas a la soldadura se escriben encima del trazo de referencia. Esta figura representa una soldadura a tope, reforzada, a un vértice, continua.*

Fig. II, 250. *Modo de indicar el espesor de la soldadura en los diferentes casos que se pueden presentar, ya sea en soldaduras a un vértice o a vértices opuestos simétricos* (a, b, c, d, e), *ya sea en el caso de vértices opuestos asimétricos* (f, g).



b) *Cordón único interrumpido o dos cordones interrumpidos opuestos.* Indicando con **a** el espesor, definido como anteriormente, con L la longitud de cada trazo o costura (fig. II, 251), con **n** el número de trazos y con e el paso o separación de los trazos, la indicación unificada es: **a — n × L/e.** En el ejemplo (fig. II, 252) $a = 3$ mm; $L = 40$ mm; $n = 6$; $e = 160$ mm.

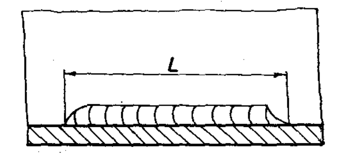


Fig. II, 251. *Modo de indicar la longitud* L *de un segmento de soldadura.*

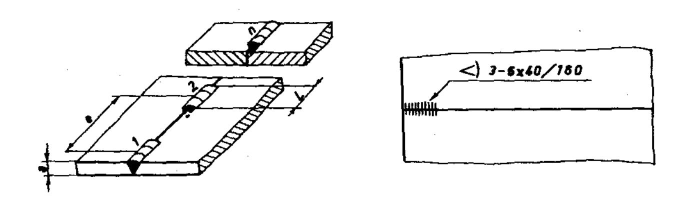


Fig. II, 252. *Representaciones unificadas de soldadura única interrumpida, sobre chapa de espesor* a = *3 mm, con* n = *6 segmentos de longitud* L = *40 mm y paso* e = *160 mm.*

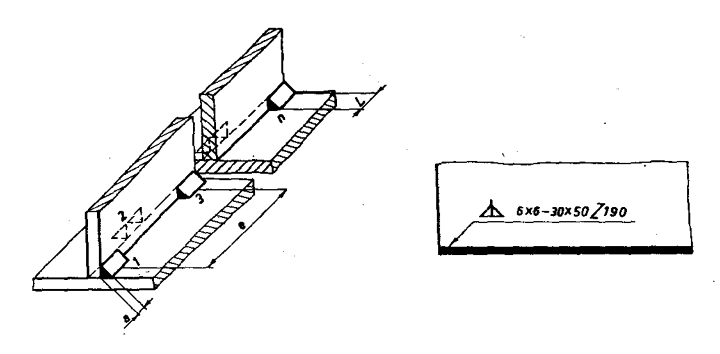


Fig. II, 253. *Representación unificada de soldadura con cordón interrumpido en zigzag, sobre chapa de espesor* a = *6 mm, con* n = *30 costuras de longitud* L = *50 mm y paso* e = *190 mm.*

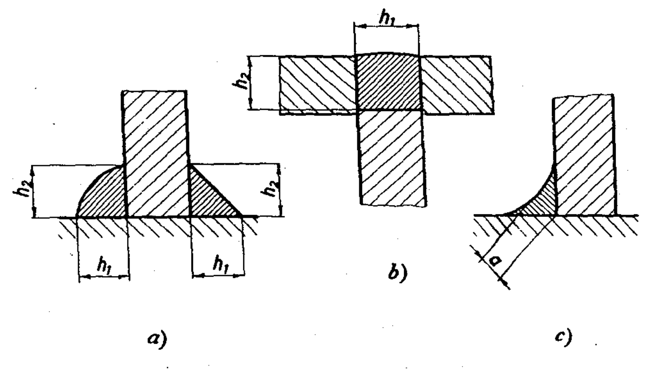


Fig. II, 254. *Representación gráfica de los elementos de una soldadura angular o sobre tres chapas.*

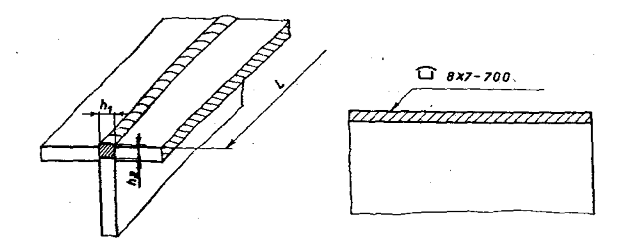


Fig. II, 255. *Ejemplo de representación unificada de soldadura sobre tres chapas con* $h_1 = 8$ *mm;* $h_2 = 7$ *mm;* L = *700 mm.*

c) *Dos cordones interrumpidos en zigzag.* Se usan las mismas letras definidas para el caso anterior; la indicación unificada es: **a — n × L/e.** En el ejemplo (fig. II, 253) $a = 6$ mm; $n = 30$; $L = 50$; $e = 190$ milímetros.

2) **Soldaduras angulares y soldaduras sobre tres chapas:**

a) *Cordón continuo.* Indicando con h_1 y h_2 los dos lados de la soldadura (fig. II, 254 *a, b*) y con a el espesor del cuello del cordón (fig. II, 254 *c*), la indicación unificada es: $\mathbf{h_1 \times h_2 — L}$, o bien, **a — L.** En el ejemplo (fig. II, 255) $h_1 = 8$ mm, $h_2 = 7$ mm; $L = 700$ mm.

b) *Cordón interrumpido* o dos cordones interrumpidos opuestos. Empleando las letras antes definidas, y siendo n = número de trazos o costuras, L = longitud de cada costura, e = paso, la indicación unificada es:

$$\mathbf{h_1 \times h_2 — nL/e}, \text{ o bien, } \mathbf{a — n \times L/e}$$

c) *Dos cordones interrumpidos en zigzag:*

$$\mathbf{h_1 \times h_2 — nL/e}, \text{ o bien } \mathbf{a — n \times L/e}$$

3) **Soldaduras en agujeros o en ranuras:**

Indicando con d el diámetro de los agujeros, con n el número de agujeros, con e el paso (o distancia entre los mismos) (fig. II, 256), una soldadura en agujeros se indica con:

$$\mathbf{d — n \times e}$$

En el caso del ejemplo $d = 30$ mm; $n = 40$; $e = 100$ mm.

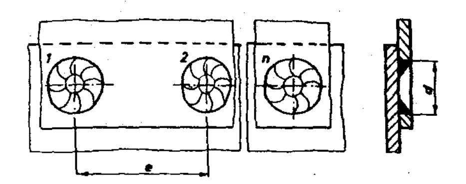
Indicando con b la anchura de las ranuras, L su longitud, n su número y e su paso (fig. II, 257), una soldadura en ranuras se indica con

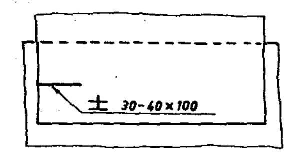
$$\mathbf{b \times L — n \times e}$$

En el caso del ejemplo, $b = 12$ mm; $L = 40$ mm; $n = 5$; $e = 60$ mm.

En todos los cordones continuos la indicación de la longitud L puede omitirse si no tiene un interés especial.

En todas las indicaciones de los cordones interrumpidos, el número n de costuras de soldadura puede omitirse y así se hace en realidad, excepto en el caso de que tales indicaciones presenten especial interés.





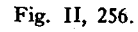
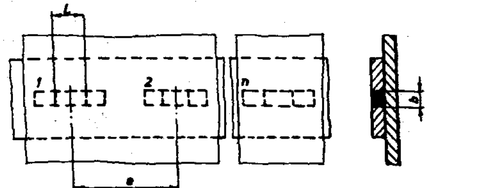


Fig. II, 256.

Fig. II, 256. *Representación unificada de soldadura dentro de* n = *40 agujeros de diámetro* d = *30 milímetros, con paso* e = *100 mm.*



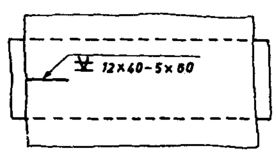


Fig. II, 257.

Fig. II, 257. *Representación unificada de soldadura dentro de* n = *5 ranuras de anchura* b = *12 mm, de longitud* L = *40 mm, con paso* e = *60 mm.*

En las tablas 38, 39 y 40 se representan, con ejemplos, los tipos más extendidos de soldadura con fusión, soldadura con presión y soldadura fuerte.

Siguen a continuación una serie de ejemplos de soldaduras de los diferentes tipos, con la designación unificada de las soldaduras y la indicación detallada de los elementos de cada soldadura (figs. II, 258-271).

Estos ejemplos confirman cuanto se ha expuesto, a saber, que las estructuras realizadas con soldaduras sustituyen completamente las obtenidas por fusión, presentando especiales características de ligereza y al mismo tiempo una economía de materiales no despreciable.

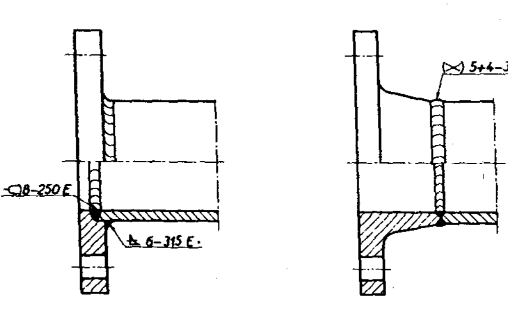


Fig. II, 260. Fig. II, 261.

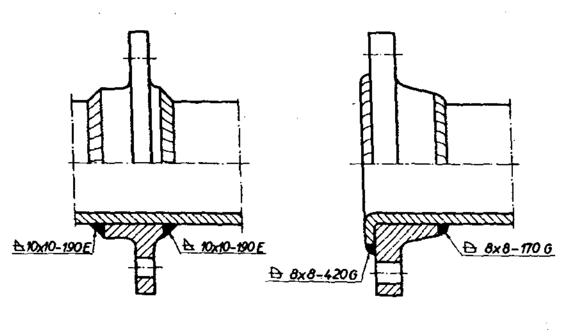


Fig. II, 262. Fig. II, 263.

Figs. II, 258-263. *Representación de bridas fabricadas por soldadura.*

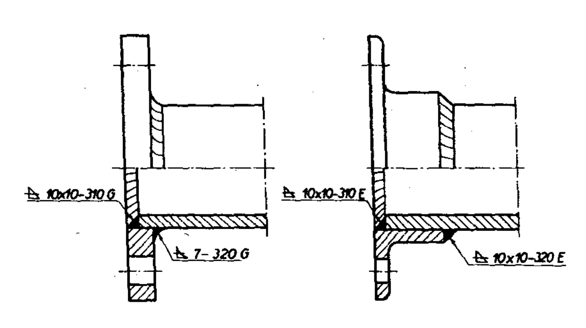


Fig. II, 258. Fig. II, 259.

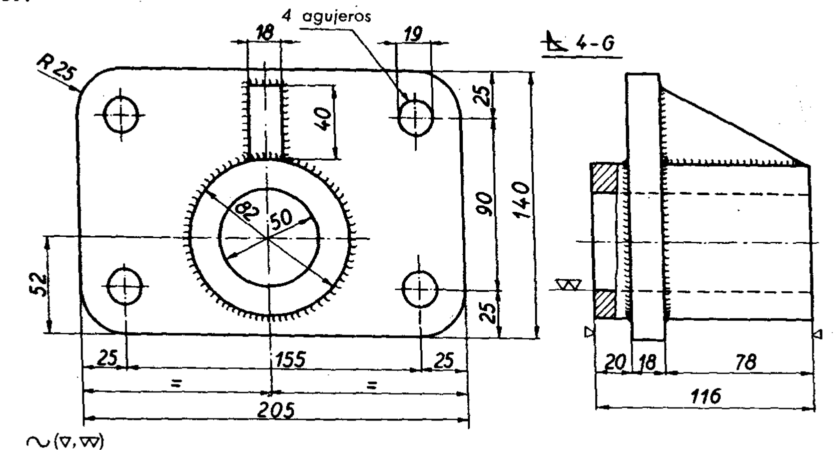


Fig. II, 264. *Soporte fabricado por soldadura.*

EJEMPLOS DE REPRESENTACIÓN DE SOLDADURAS

Tabla 38

	Soldadura	Representación convencional		Soldadura	Representación convencional
Uniones a tope	Soldadura en borde, reforzada, espesor 2 milímetros, continua 2000 mm, en hidrógeno atómico.	2-2000 H	Uniones a tope	Soldadura en doble U, plana-reforzada, espesor 40 mm, continua, 2000 mm, por arco.	40-2000 E
Uniones a tope	Soldadura en I, reforzada, espesor 3 mm, continua 2000 mm por gas.	3-2000 G	Uniones a tope	Soldadura en doble J, plana-reforzada, espesor 40 mm, continua, 2000 mm, por arco.	40-2000 E
Uniones a tope	Soldadura en V, plana, espesor 10 mm, continua, 1600 mm, por gas.	10-1600 G	Uniones de borde	Soldadura en I, reforzada, espesor 3 mm, continua, 4000 mm, por arco, efectuada en la obra.	3-4000 E
Uniones a tope	Soldadura en V, reforzada, con refuerzo en el revés, espesor 12 mm, continua, 3000 mm, por arco.	12-3000 E	Uniones de borde	Soldadura en U, reforzada, espesor 3 milímetros, continua, 3000 mm, por arco.	8-3000 E
Uniones a tope	Soldadura en V, reforzada, con refuerzo en el revés, plana, sobre dos chapas de diferente espesor (la más delgada 10 mm), continua, 1600 mm, por gas.	10-1600 G	Unión de canto	Soldadura en ángulo, reforzada, espesor 10 milímetros, en los dos lados, continua, 1600 milímetros, por gas.	10×10-1600 G
Uniones a tope	Soldadura en U, plana, espesor de la soldadura 20 mm, continua, 2100 mm, por arco.	20-2100 E	Uniones en L	Soldadura en ángulo, aligerada, espesor 5 milímetros, continua, longitud 1600 mm, por gas.	5-1600 G
Uniones a tope	Soldadura de vértices opuestos, asimétrica, reforzada, espesor 18 milímetros y 10 mm, continua, 900 mm, por gas.	18+10-900 G	Uniones en L	Soldadura en ángulo, plana, de 15 mm por 15 mm, y soldadura en J, plana, ambas continuas, 2100 mm, por arco.	18-2100 E 15×15-2100 E

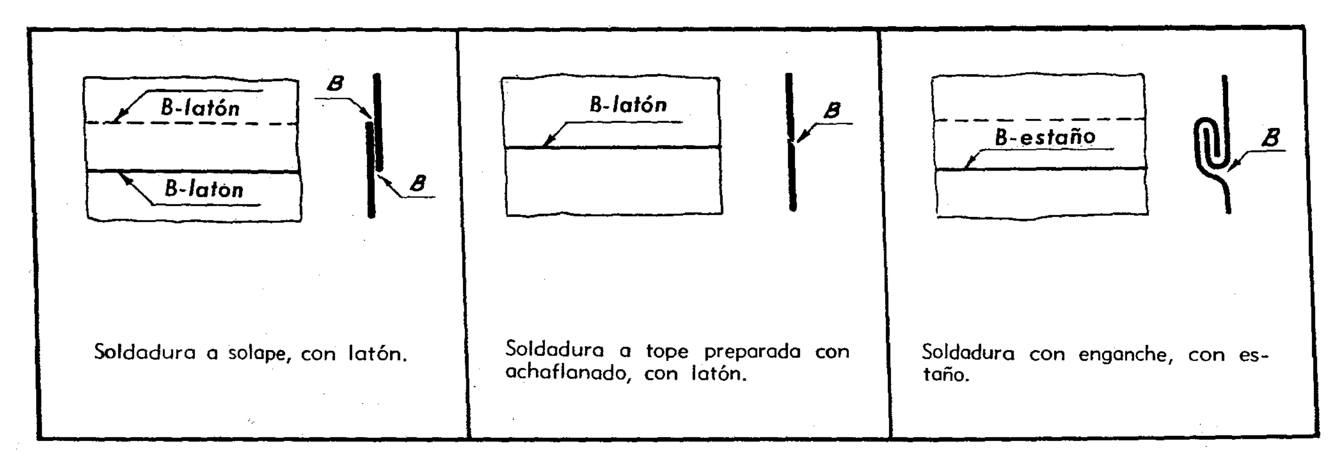
(continuación) EJEMPLOS DE REPRESENTACIÓN DE SOLDADURAS

Tabla 39

	Soldadura	Representación convencional
Uniones en T	Soldadura en ángulo de 10 mm × 10 mm, plana, continua, limitada a la costura indicada, 3000 mm, por arco.	10×10-3000E; 30
Uniones en T	Soldadura en ángulo, plana, simétrica, espesor 8 mm × 8 mm, continua, 1600 mm, por gas.	8×8-1600G
Uniones en T	Soldadura en ángulo, plana, de 8 mm por 8 mm y soldadura en ángulo, plana, de 5 milímetros por 5 mm, ambas continuas, 1600 mm, por gas.	8×8-1600G; 5×5-1600G
Uniones en T	Soldadura en 1/2 V, aligerada, espesor 10 milímetros, continua, 3000 mm, por arco.	10-3000E
Uniones en T	Soldadura en K, aligerada, espesor 15 milímetros, continua, 3000 mm, por gas.	15-3000G
Uniones a solape	Soldaduras en ángulo, planas, ambas de 12 milímetros × 12 mm, continuas, 2500 mm, en hidrógeno atómico.	12×12-2500H; 12×12-2500H
Uniones a solape	Soldadura en ángulo, plana, de 6 mm por 6 mm y soldadura reforzada de 10 mm por 10 mm, ambas de 180 mm (50 mm sin soldar), por gas.	10×10-180G; 6×6-180G; 50
Unión a tope	Soldadura en I, plana, espesor 3 mm, n costuras de 50 mm, paso 110 mm, por gas.	3-n×50/110G
Unión de borde	Soldadura en I, reforzada, de 3 mm, n costuras de 40 mm, paso 100 mm, por arco, ejecución en la obra.	3-n×40/100E
Uniones en T	Soldadura en ángulo, simétrica, de costuras en zigzag, plana, espesor 10 mm, paso 150 mm, por gas.	10×10-n×40/150G
Uniones en T	Soldadura en ángulo, plana, de 10 mm por 10 mm, n costuras de 40 mm, paso 150 mm, soldadura con espesor de 6 × 6 mm, n costuras de 20 mm, paso 150 mm, en zigzag.	10×10-n×40/150G; 6×6-n×20/150G
Uniones en T	Soldaduras en ángulo, simétricas, en cadena, de 10 mm por 10 mm, n costuras de 70 mm y de 4 mm y n costuras de 40 mm, paso 140 mm, por arco.	4-n×40/140E; 10×10-n×70/140E
Uniones en T	Soldaduras en ángulo de costuras en zigzag, dos reforzadas 10 mm × 10 mm, dos aligeradas 4 mm por 4 mm, n costuras en zigzag de 40 mm, paso 40 mm, por gas.	10×10-n×40/140G; 4-n×40/140G; 4-n×40/140G; 10×10-n×40/140G
Uniones a solape	Soldadura en ángulo, continua, 12 mm por 12 mm, longitud 3000 milímetros, y soldadura en ángulo con n costuras de 50 mm, 12 mm × 12 mm, paso 150 mm, por arco.	12×12-3000E; 12×12-n×50/150E
Uniones a solape	Soldaduras en ángulo, planas, 10 mm por 10 mm, con costuras de 40 mm, en zigzag, paso 120 mm, por arco.	10×10-n×40/120E; 120; 10×10-n×40/120; 60
Uniones a solape	Soldadura dentro de agujeros de lados rectos, diámetro 40 mm, n soldaduras, paso 100 mm, por gas.	40-n×100G
Uniones a solape	Soldadura dentro de ranuras de lados avellanados, 12 mm por 40 mm, paso 130 mm, por arco.	12×40-n×130E

(continuación) EJEMPLOS DE REPRESENTACIÓN DE SOLDADURAS **Tabla 40**

Uniones a tope		Uniones en L
12-1600 SB	12+8-900 SB	6-2000 SB
Soldadura fuerte en V, reforzada, con refuerzo en el revés, continua, espesor 12 mm, longitud 1600 milímetros.	Soldadura fuerte en X, asimétrica, reforzada, espesores 12 milímetros y 8 mm continua, longitud 900 mm.	Soldadura fuerte en ángulo, aligerada, espesor 6 mm, longitud 2000 mm.
Uniones en T		**Unión a solape**
6-1800 SB	15-2100 SB	4-900 SB / 4-900 SB
Soldadura fuerte en ángulo, aligerada, espesor 6 mm, longitud 1800 mm.	Soldadura fuerte en K, oligerada, espesor 15 mm, longitud 2100 mm.	Soldadura fuerte en ángulo, 4 milímetros, continua, longitud 900 mm.



Soldadura a solape, con latón.

Soldadura a tope preparada con achaflanado, con latón.

Soldadura con enganche, con estaño.

Se observa que una de las aplicaciones especiales de la soldadura y donde ha alcanzado un gran desarrollo es en la construcción de aparatos de montaje para máquinas herramientas.

Estos aparatos, fabricados en número escasísimo de ejemplares y a veces en ejemplar único, resultarían a un coste prohibitivo si se fabricasen, o en todo o en parte, mediante procedimientos de fusión.

Una muestra de estos aparatos y como ejemplo se representa en la figura II, 266.

El uso de las soldaduras se ha difundido además en gran manera para aplicar refuerzos, nervios, botones, etc., a piezas fundidas, pues estos elementos complicarían extraordinariamente los modelos de fundición si las piezas se tuviesen que obtener totalmente y con todas sus partes accesorias mediante fusión.

La figura II, 267 muestra una ulterior aplicación esencial de la soldadura, para aplicación de empalmes, botones, etc., sobre estructuras fabricadas con plancha estampada.

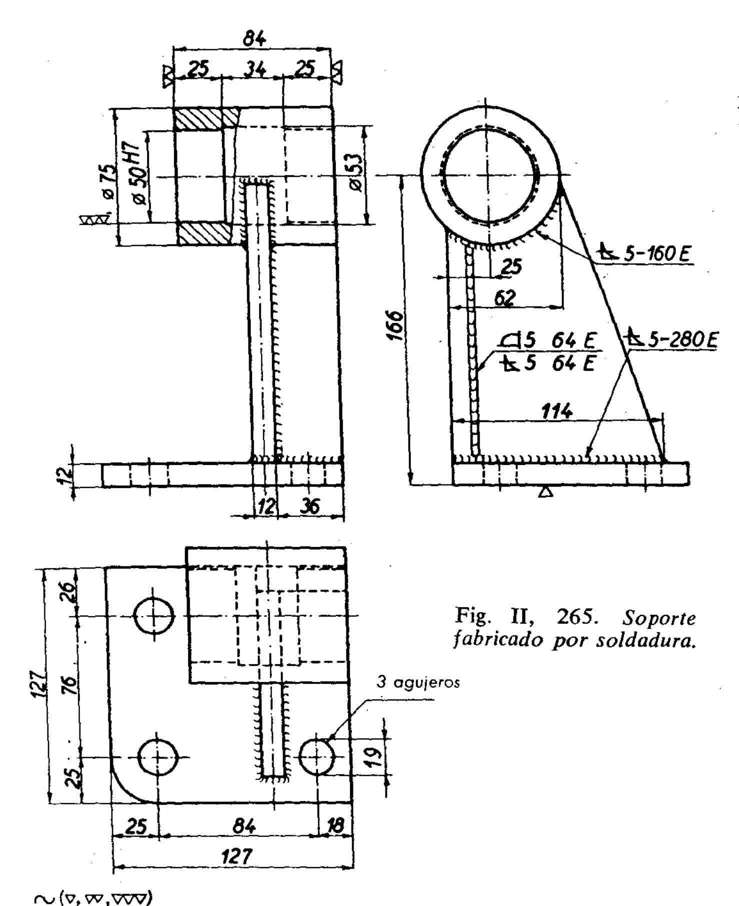


Fig. II, 265. *Soporte fabricado por soldadura.*

Como ya se ha dicho, se ha difundido extraordinariamente la soldadura en la fabricación de recipientes y calderas de palastro en sustitución del clásico remachado. Esto ha sido posible en cuanto los métodos modernos de comprobación no destructiva (control con rayos X o rayos γ, control magnetoscópico, control ultrasónico) ofrecen la posibilidad de localizar-los varios defectos eventualmente producidos en las soldaduras efectuadas.

Entre las ventajas del empleo de estructuras soldadas sobre las fundidas, destaca la de que para las estructuras soldadas se pueden emplear con frecuencia materiales con características mecánicas superiores a las de los materiales empleados en las estructuras fundidas.

Se llama la atención sobre el símbolo que indica las soldaduras efectuadas *en la obra* (tabla 37). Se trata de soldaduras que no se efectúan en la fabricación de una pieza soldada, sino sobre piezas que ya se han colocado sobre la estructura de que forman parte (por ejemplo, planchas de navíos, abrazaderas de castilletes, etc.).

Es conveniente recordar que para estas soldaduras efectuadas en obra se ha de tener muy en cuenta, al proyectarlas, la posibilidad de ejecución de las mismas; es decir, que se hayan previsto las posibilidades de maniobra y de acceso, tanto para efectuar las soldaduras como para verificar la inspección subsiguiente.

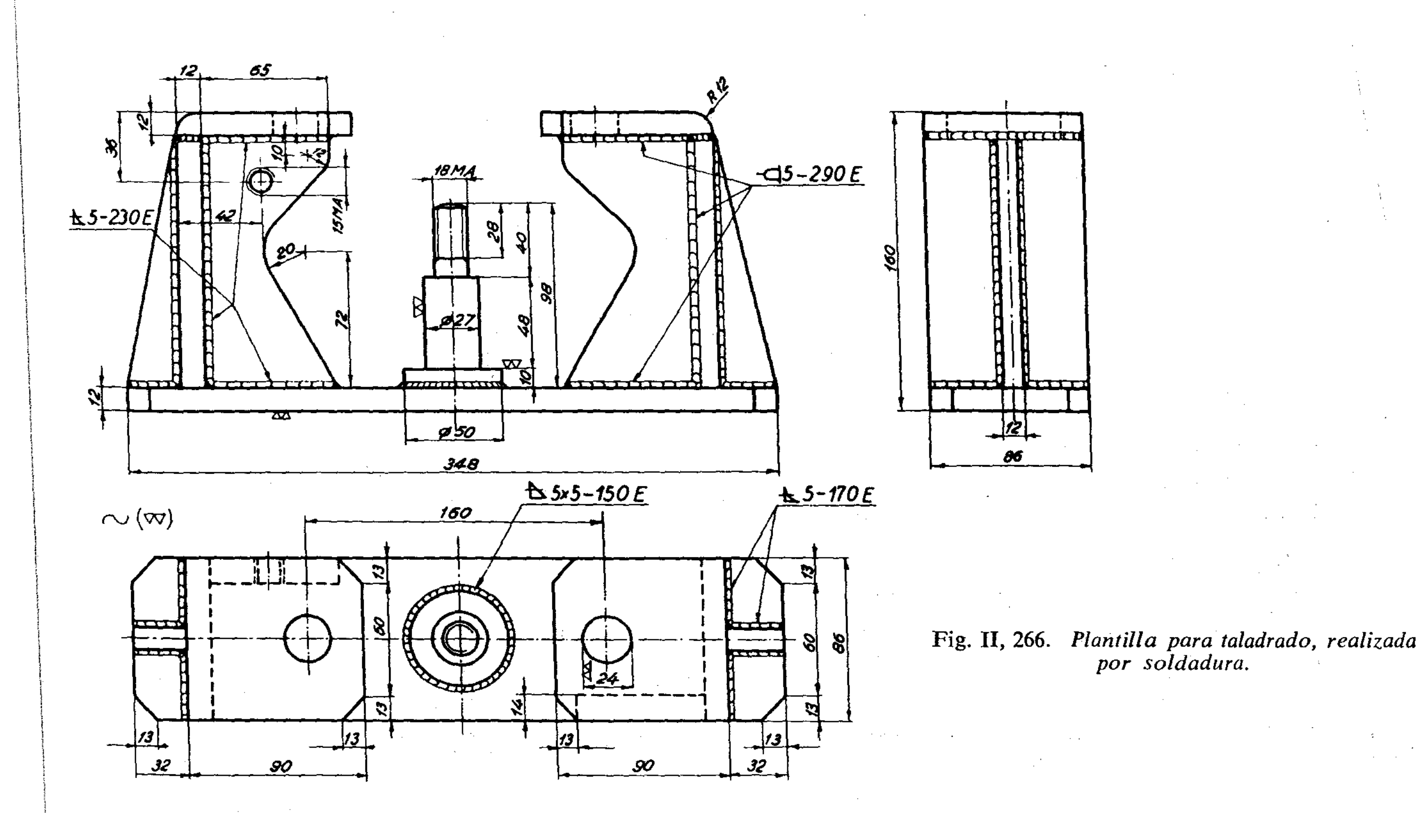


Fig. II, 266. *Plantilla para taladrado, realizada por soldadura.*

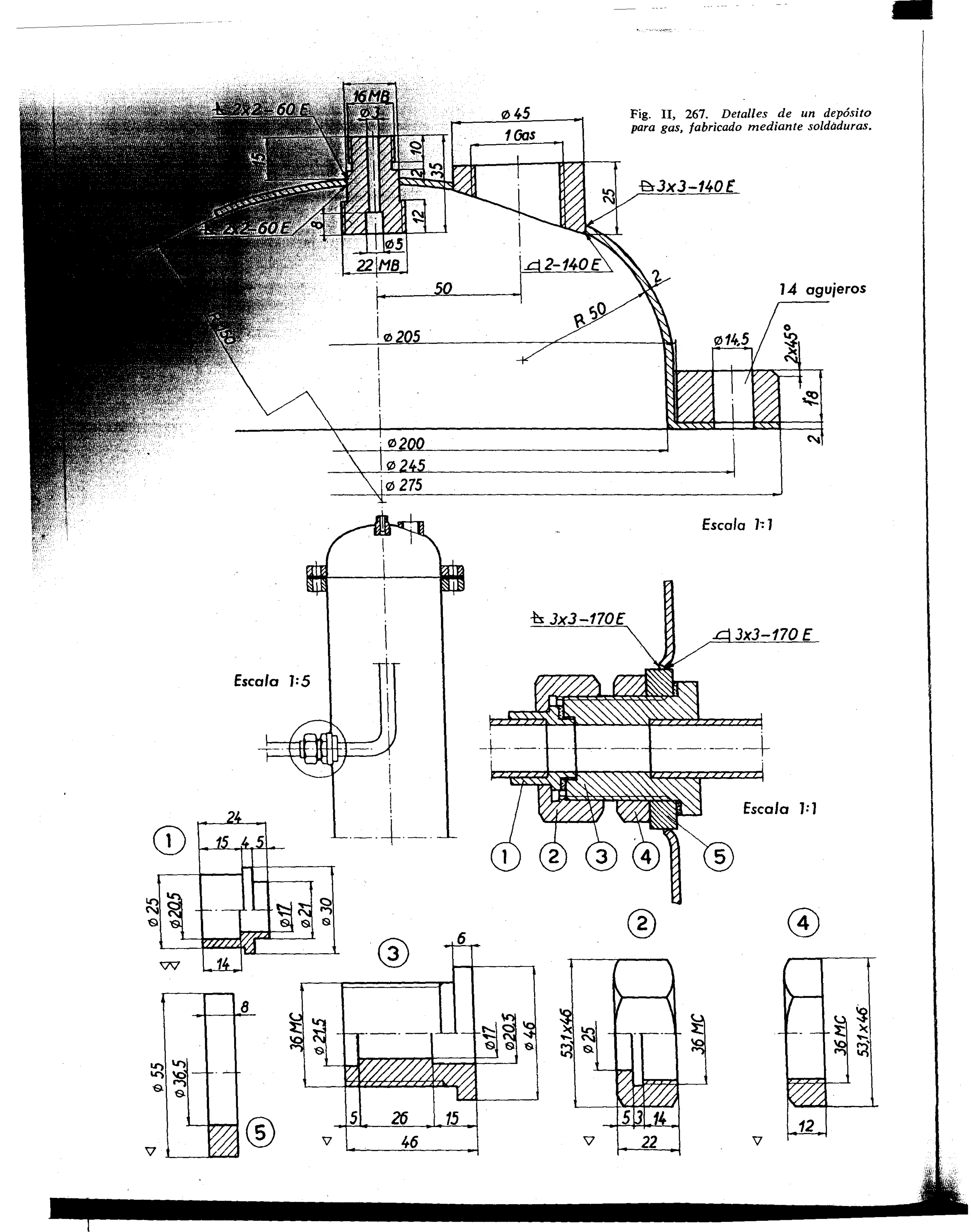


Fig. II, 267. *Detalles de un depósito para gas, fabricado mediante soldaduras.*

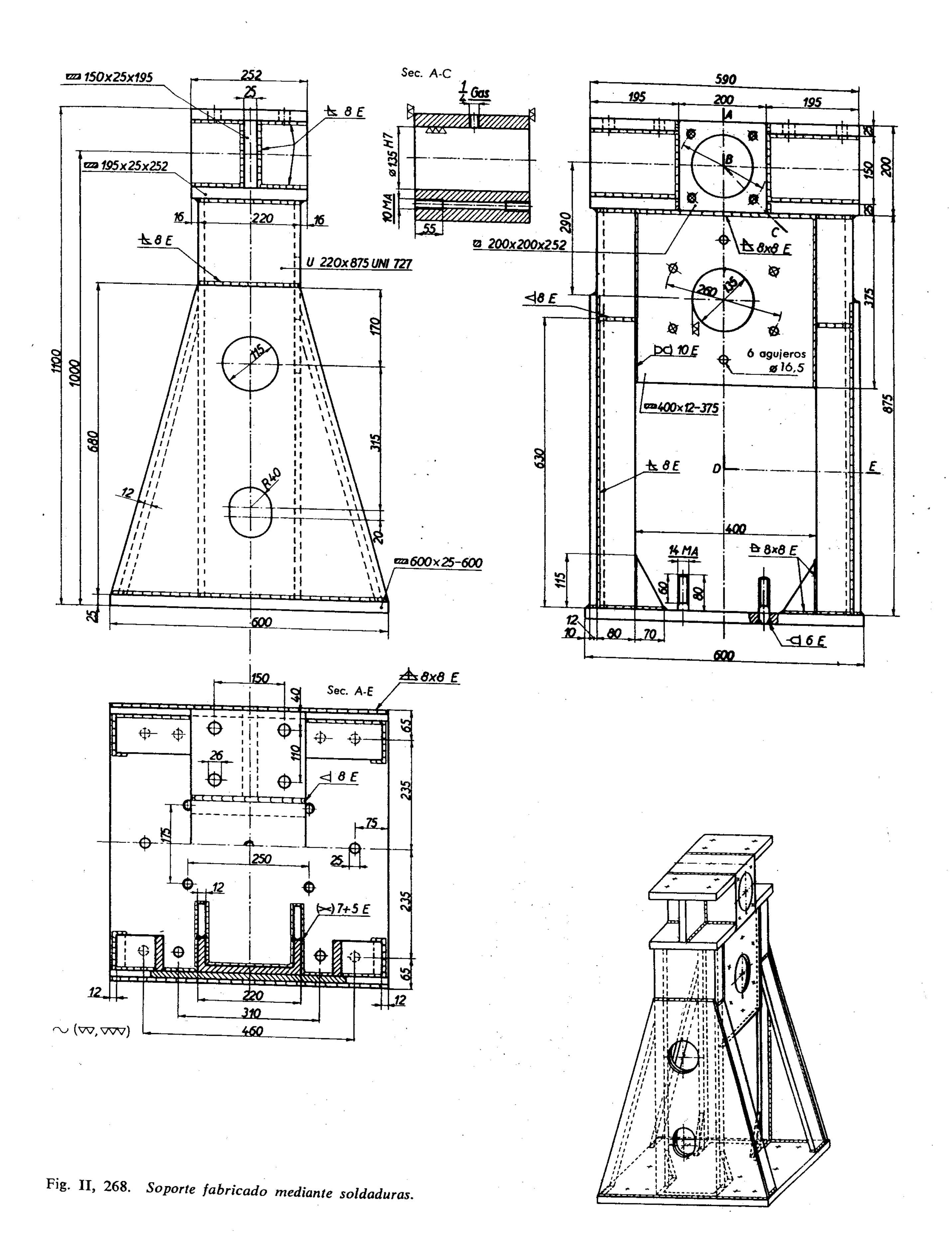


Fig. II, 268. *Soporte fabricado mediante soldaduras.*

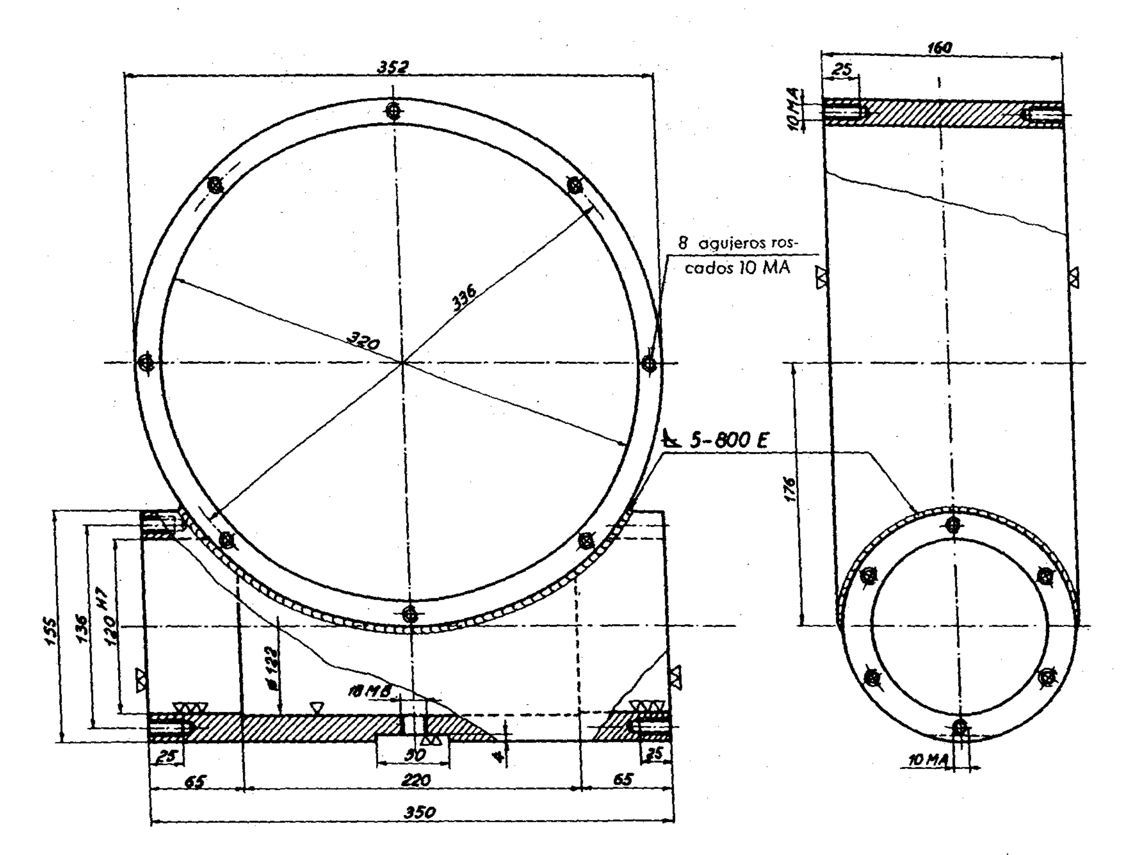


Fig. II, 269.

Figs. II, 269-271. *Cuerpo de un reductor soldado y bridas correspondientes.*

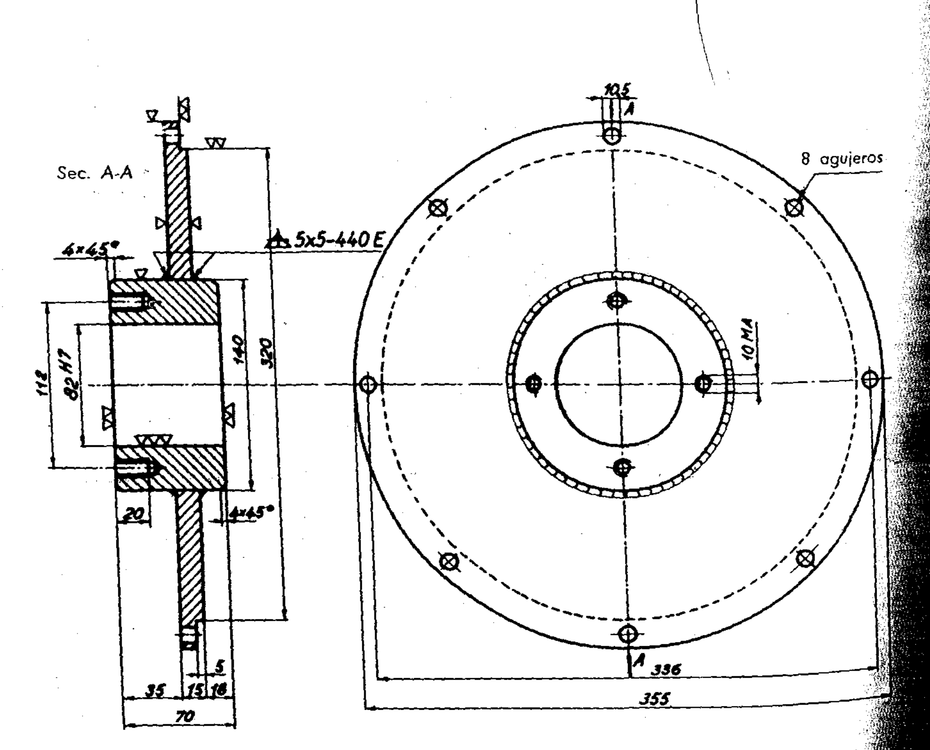


Fig. II, 270.

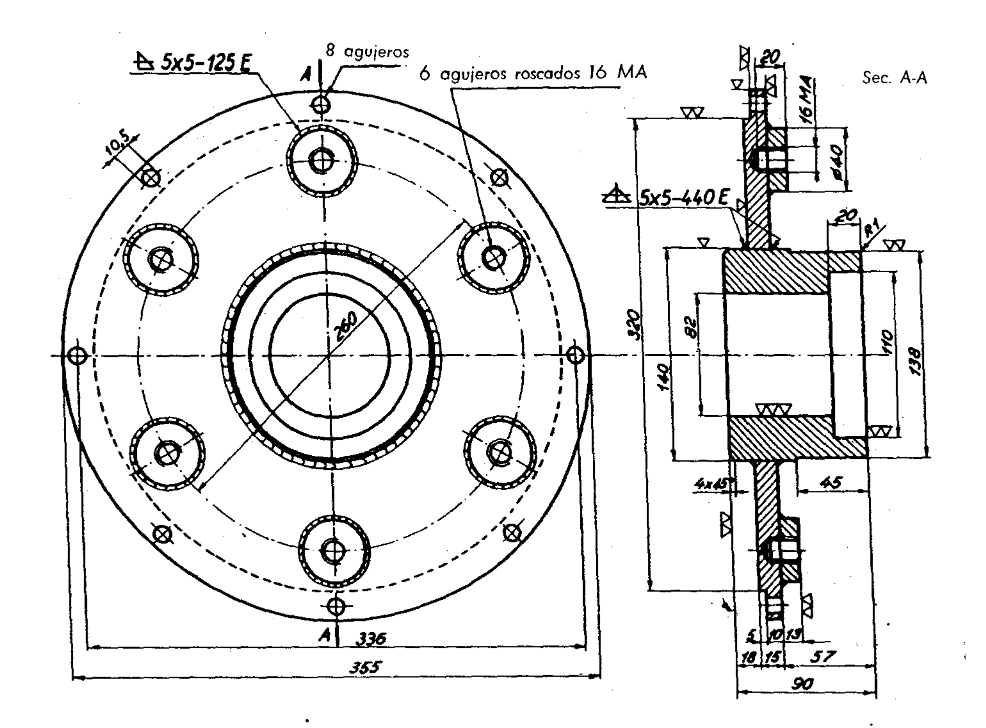


Fig. II, 271.

Capítulo VIII

ROSCAS - UNIONES CON TORNILLOS Y PERNOS - NORMAS CORRESPONDIENTES

55. Nociones generales sobre roscas

La unión tornillo-tuerca es de aplicación muy frecuente en todas las construcciones mecánicas, sea como medio de sujeción de dos piezas, sea como órgano de transmisión de movimiento, cuando, por ejemplo, el tornillo va montado en la parte fija y la tuerca está montada sobre la parte móvil, que forzosamente se ve obligada a trasladarse en la dirección del eje del tornillo, cuando éste tiene un movimiento de rotación. Son conocidísimas las aplicaciones de esta clase en las máquinas herramientas, en los instrumentos de medida, en los microscopios, etcétera.

Para definir los elementos de un tornillo, se ha de recordar ante todo la definición de hélice. Ésta se puede considerar como la línea trazada sobre un cilindro de diámetro *d* por el arrollamiento sobre el mismo de un triángulo rectángulo, de base igual a πd, circunferencia del cilindro. La altura del triángulo rectángulo es igual al segmento de generatriz del cilindro limitado por el principio y el fin de una espiral de la hélice, llamado *paso* (fig. II, 272).

El tornillo tipo se presenta como indica la figura II, 273.

Desde el punto de vista mecánico, un tornillo y una tuerca se pueden imaginar engendrados por el

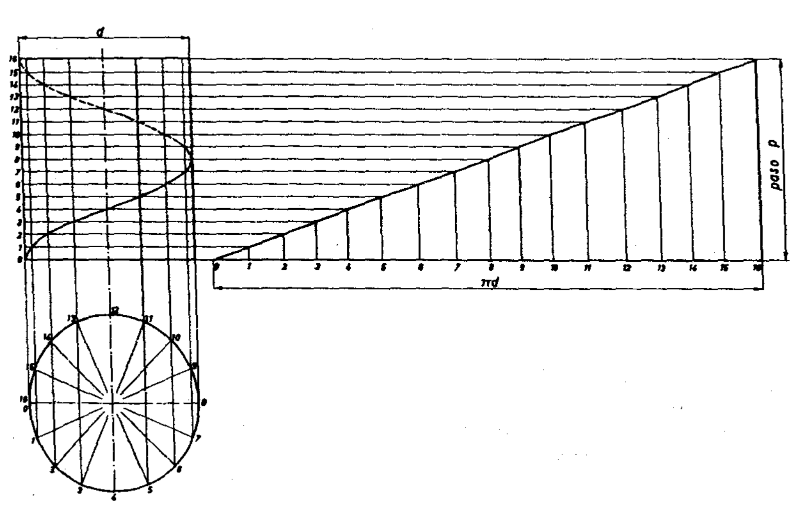


Fig. II, 272. *Una hélice se puede considerar engendrada por el arrollamiento, sobre un cilindro de diámetro* d, *de un triángulo rectángulo de base* πd *y altura* p. p *es el* **paso** *de la hélice.*

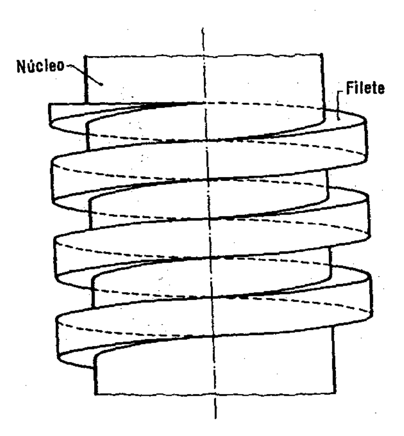


Fig. II, 273. *He aquí cómo se presenta esquemáticamente un tornillo, formado por un* núcleo *y un* filete.

movimiento de rotación uniforme de una figura plana, de forma apropiada, en contacto con la superficie externa de un cilindro (tornillo) o con la superficie interna de un clindro (tuerca), estando acompañada la rotación de un movimiento uniforme, de traslación en el sentido del eje del cilindro. En su movimiento engendra la figura un cuerpo helicoidal (fig. II, 273), llamado rosca o *filete* del tornillo.

Según sea la forma de la figura plana que gira, resultan diferentes formas de rosca, como se ve examinando las figuras II, 274-275.

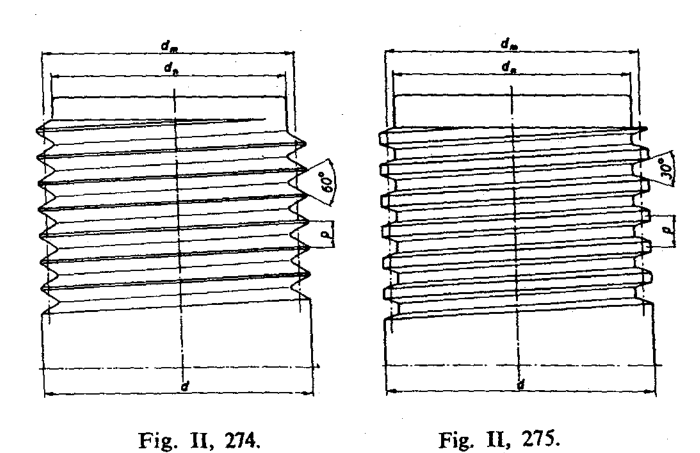


Fig. II, 274. Fig. II, 275.

Figs. II, 274-275. *El tornillo representado en la* fig. I, 273 *era de filete* rectangular *(cuadrado); en la* fig. II, 274 *el filete es* triangular achaflanado; *en la* fig. II, 275 *el filete es* trapecial.

Es evidente que la rotación de la figura generatriz puede tener lugar en el sentido de las agujas del reloj o en sentido contrario, con respecto a un observador situado en el eje del tornillo y que vea elevarse la figura generatriz durante la rotación. Habrá, pues, en consecuencia, roscas a la *izquierda* (fig. II, 277) y a la *derecha* (fig. II, 276).

Puede, en fin, ocurrir que la altura de la figura generatriz sea una fracción (1/2; 1/3; 1/4) del paso y que giren simultáneamente 2, 3 ó 4 figuras iguales, puestas una debajo de otra, en el sentido del eje de rotación. Es evidente que, puesto que cada una de las figuras engendra su propio filete, se tendrá en este caso un tornillo que tendrá, respectivamente, 2, 3 ó 4 filetes paralelos. Un tornillo de este tipo se denomina *tornillo de varios filetes* (o varias entradas) y se halla representado en la figura II, 278.

De modo análogo puede considerarse engendrada la tuerca (fig. II, 279).

Después de estas consideraciones expuestas en forma intuitiva, se puede pasar al estudio técnico de las roscas.

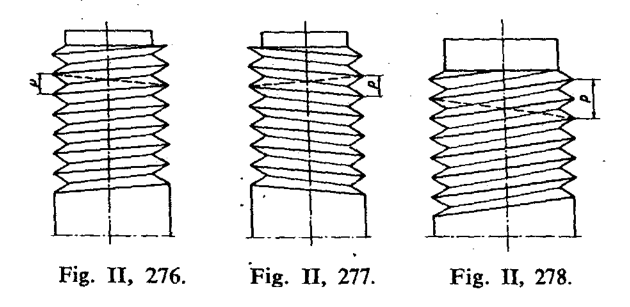


Fig. II, 276. Fig. II, 277. Fig. II, 278.

Figs. II, 276-278. *La rosca indicada en la* fig. II, 276 *es* derecha; *la de la* fig. II, 277 *es* izquierda; *la de la* fig. II, 278 *es* derecha de dos entradas.

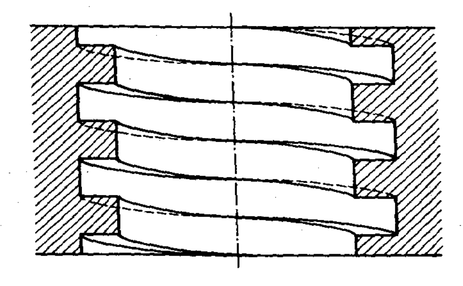


Fig. II, 279. – *Tuerca.*

Las definiciones relativas a las roscas se han unificado en la tabla **UNI 2700.** A continuación damos las principales; algunas se refieren tanto al tornillo como a la tuerca; otras solamente a uno o a otra.

Núcleo del tornillo. Es el núcleo central cilíndrico de la parte roscada, no afectado por la rosca. El eje de este cilindro coincide con el eje del tornillo. Su diámetro, llamado **diámetro del núcleo**, se designa con d_n (figs. II, 273-280) para el tornillo y D_n (fig. II, 281) para la tuerca.

Filete. Se arrolla en hélice sobre el núcleo. El eje del tornillo es asimismo el eje de esta hélice.

Perfil de la rosca. Es la intersección de un plano que pasa por el eje del tornillo, con la superficie roscada; el perfil está limitado (figs. II, 280-281) por el *vértice*, los *flancos* y la *base*.

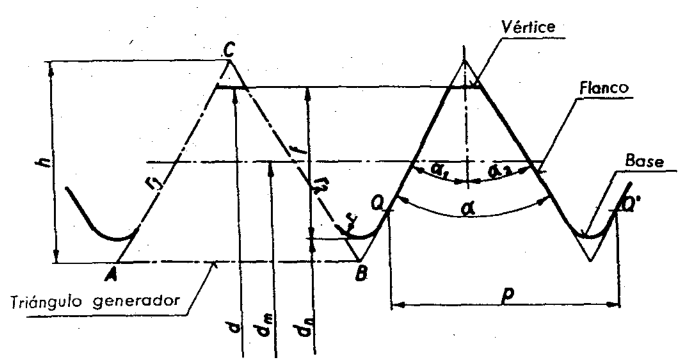


Fig. II, 280. *Elementos de un tornillo.*

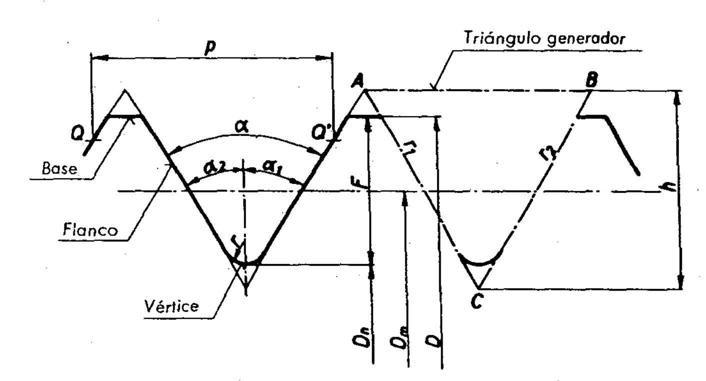


Fig. II, 281. *Elementos de una tuerca.*

Triángulo generador del perfil. Se puede considerar como figura plana generatriz de la rosca, el triángulo *ABC* (figs. II, 280-281), cuyo perfil queda determinado por las intersecciones de las rectas r_1 y r_2 a las que pertenecen los flancos de dos secciones consecutivas del filete. En los diferentes tipos de roscas empleados en la práctica, este perfil queda más o menos modificado por achaflanados, truncamientos, enlaces, etcétera.

El ángulo α es el *ángulo del perfil*, y es igual a $\alpha_1 + \alpha_2$, ángulos formados, respectivamente, por r_1 y r_2 con la altura *h* del triángulo generador. Si $\alpha_1 = \alpha_2$, se tiene una rosca de perfil simétrico.

Paso. Es la distancia *p* entre dos puntos correspondientes *Q*, *Q'* situados sobre dos flancos paralelos consecutivos del perfil.

En el caso de tornillos de varios filetes (llamados *tornillos de varias entradas*) los dos puntos *Q*, *Q'* para determinar el paso, se han de tomar sobre el mismo filete.

Rosca derecha o izquierda. El modo de engendrar el filete es derecho cuando un observador situado a lo largo del eje de la hélice y que siga con la mirada el filete, lo vea elevarse cuando gire sobre sí mismo en sentido contrario a las agujas del reloj; y por el contrario, es izquierdo, cuando vea elevarse el filete, girando en el sentido de dichas agujas. En consecuencia, se tienen las *roscas derecha e izquierda*. Las roscas usadas normalmente son las derechas.

Diámetro exterior del tornillo *(o diámetro de la rosca).* Es el diámetro *d* del tornillo, medido desde el vértice del filete (fig. II, 280). Este diámetro constituye la medida nominal tanto de los tornillos como de las tuercas correspondientes.

Diámetro del núcleo del tornillo. Es el diámetro d_n medido desde el fondo de la rosca, es decir, el diámetro del cilindro ideal *(núcleo)* sobre el que se puede imaginar arrollado el filete.

Nota. Se ha de poner mucho cuidado en no confundir el diámetro del núcleo del tornillo con el diámetro del cilindro imaginario en contacto del cual hemos imaginado que se deslizaba, en su movimiento, el triángulo generador. El diámetro del núcleo es un diámetro real, sobre el que se ha arrollado el filete real, es decir, con todas las modificaciones producidas por achaflanados, redondeados, etc., del filete ideal. En cambio, el diámetro del cilindro imaginario de que se ha hablado no tiene importancia alguna, hasta el punto de que no tiene denominación.

Diámetro exterior de la tuerca. Es el diámetro *D* medido desde el vértice de los filetes de la tuerca.

Diámetro del núcleo de la tuerca. Es el diámetro D_n medido desde el fondo de la rosca de la tuerca.

Diámetro medio del tornillo o tuerca. Es el diámetro d_m o D_m medido desde el punto medio de la altura *h* del triángulo generador.

Profundidad de la rosca. Es la distancia *f* (para el tornillo) o *F* (para la tuerca) perpendicular al eje, entre el vértice y la base de la rosca; o sea, la diferencia en valor absoluto entre el diámetro exterior y el diámetro del núcleo.

Longitud del roscado. Es la longitud de la unión de tornillo y tuerca (fig. II, 282): en esta figura se han indicado las roscas en la forma normalizada, que se explicará más adelante.

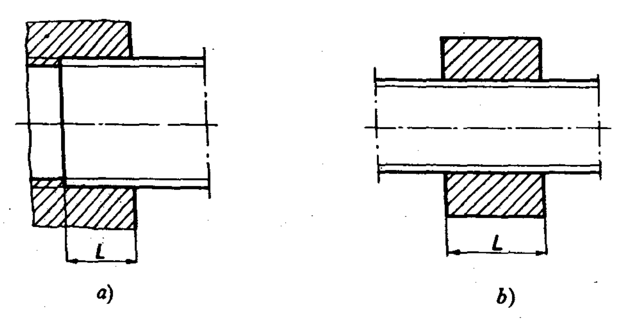


Fig. II, 282. *Longitud del roscado.*

Radio de redondeado. Es el radio r del arco de enlace de los flancos de la rosca, con la base o con el vértice.

De todo lo expuesto resulta que la unión teórica entre la rosca del tornillo y la de la tuerca se puede representar esquemáticamente en sección como indica la figura II, 283: los dos perfiles coinciden.

En realidad, los dos perfiles no han de coincidir, sino que han de dejar un juego más o menos sensible entre el vértice y la base de las roscas acopladas (figura II, 284).

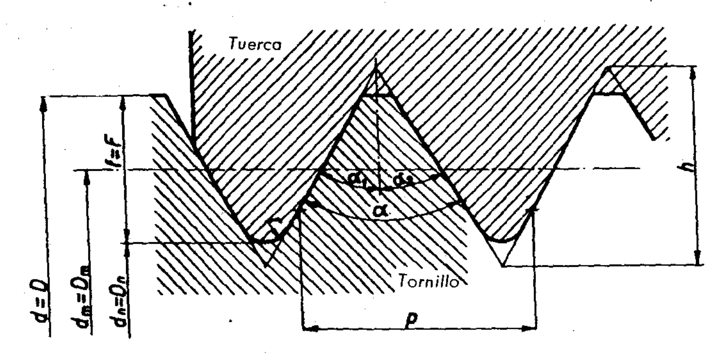


Fig. II, 283. *Sección esquemática de una unión tornillo-tuerca, ambas con perfil teórico.*

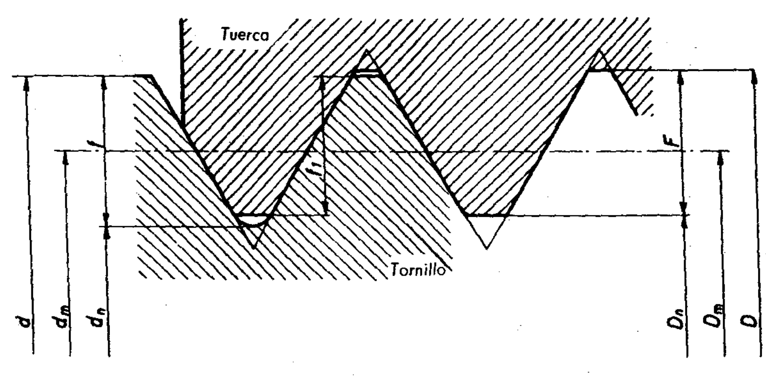


Fig. II, 284. *Sección esquemática de una unión tornillo-tuerca, con perfil real.*

56. Tipos de roscas

Los diferentes tipos de roscas corresponden a los diferentes casos en que se aplican dichas roscas.

Para tornillos de sujeción, en Italia la rosca unificada y obligatoria por la ley para los suministros estatales y paraestatales, es la *rosca métrica internacional*. Sin embargo, se emplea también con mucha frecuencia la rosca Whitworth.

Roscas del sistema métrico S I. El vértice de la rosca del tornillo y el fondo de la rosca de la tuerca están truncados con arista viva a una distancia del vértice del triángulo generador (fig. II, 285) igual a $h/8$, mientras que la base de la rosca del tornillo y el vértice de la rosca de la tuerca están redondeados con un radio r igual también a $h/8$.

Las proporciones, para todos los tornillos del sistema S I, son las siguientes:

$$\alpha = 60° \quad \alpha_1 = \alpha_2 = 30° \quad h = 0{,}8660\,p \quad r = \frac{1}{8}h$$

$$F = f = 0{,}6495\,p \quad d = D \quad d_m = D_m = d - f$$

$$d_n = D_n = d - 2f\,.$$

Para las necesidades de la industria se han unificado 5 series, designadas respectivamente *MA; MB; MC; MD; ME*. La serie *MA* es la de la tornillería normal; a ella se refiere la tabla **UNI 2706.** La serie *MB* **(UNI 2707)** es para tornillería de rosca fina. Las otras series están reservadas para órganos mecánicos.

A igualdad de diámetro de los tornillos, el paso va disminuyendo desde la serie *MA* a las siguientes; y puesto que la profundidad de la rosca es función del paso, se sigue que en la serie *MB* y las sucesivas resulta un aumento progresivo del núcleo, que, a igualdad de diámetro de los tornillos, es cada vez mayor; por otra parte, la menor inclinación del filete (respecto a la sección perpendicular al eje del tornillo) que resulta al pasar de la serie *MA* a las siguientes, constituye una mayor garantía de que no se desenrosquen los tornillos espontáneamente.

La comparación de los pasos de las cinco series de roscas métricas se puede hacer sirviéndose de los datos de la tabla 41.

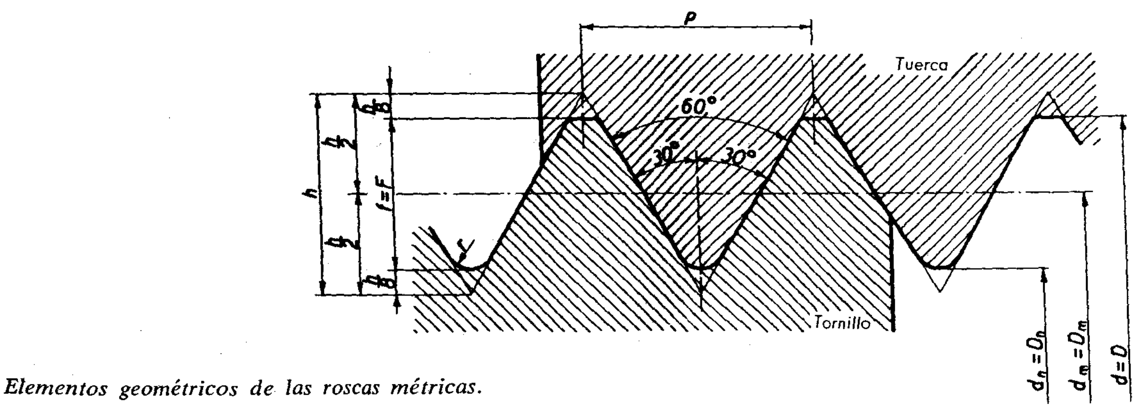


Fig. II, 285. *Elementos geométricos de las roscas métricas.*

Rosca métrica

Serie de diámetros y pasos

(De la tabla UNI 2702)

Ejemplo de designaciones de una rosca métrica serie MB que tiene d = 16 mm: **16 MB**

Medidas en mm

Diámetro d	Para tornillería		Para órganos mecánicos				
	Serie MA	Serie MB	Serie MA	Serie MB	Serie MC	Serie MD	Serie ME
	Pasos p		Pasos p				
1	0,25	0,2	0,25	0,2	—	—	—
1,2	0,25	0,2	0,25	0,2	—	—	—
1,4	0,3	0,2	0,3	0,2	—	—	—
1,7	0,35	0,20	0,35	0,2	—	—	—
2	0,4	0,25	0,4	0,25	—	—	—
2,3	0,4	0,25	0,4	0,25	—	—	—
2,6	0,45	0,35	0,45	0,35	—	—	—
3	0,5	0,35	0,5	0,35	0,25	—	—
3,5	0,6	0,35	0,6	0,35	0,25	—	—
4	0,7	0,5	0,7	0,5	0,35	0,25	—
4,5	—	—	0,75	0,5	0,35	0,25	—
5	0,8	0,5	0,8	0,5	0,35	0,25	—
5,5	—	—	—	0,5	0,35	0,25	—
6	1	0,75	1	0,75	0,5	0,35	0,25
7	1	0,75	1	0,75	0,5	0,35	0,25
8	1,25	1	1,25	1	0,75	0,5	0,35
9	1,25	1	1,25	1	0,75	0,5	0,35
10	1,5	1	1,5	1	0,75	0,5	0,35
11	—	—	1,5	1	0,75	0,5	0,35
12	1,75	1,5	1,75	1,5	1	0,75	0,5
13	—	—	—	1,5	1	0,75	0,5
14	2	1,5	2	1,5	1	0,75	0,5
15	—	—	—	1,5	1	0,75	0,5
16	2	1,5	2	1,5	1	0,75	0,5
17	—	—	—	1,5	1	0,75	0,5
18	2,5	1,5	2,5	1,5	1	0,75	0,5
19	—	—	—	1,5	1	0,75	0,5
20	2,5	1,5	2,5	1,5	1	0,75	0,5
21	—	—	—	1,5	1	0,75	0,5
22	2,5	1,5	2,5	1,5	1	0,75	0,5
24	3	2	3	2	1,5	1	0,75
25	—	—	—	2	1,5	1	0,75
26	—	—	—	2	1,5	1	0,75
27	3	2	3	2	1,5	1	0,75
28	—	—	—	2	1,5	1	0,75
30	3,5	2	3,5	2	1,5	1	0,75
32	—	—	—	2	1,5	1	0,75
33	3,5	2	3,5	2	1,5	1	0,75
34	—	—	—	3	2	1,5	1
36	4	3	4	3	2	1,5	1
38	—	—	—	3	2	1,5	1
39	4	3	4	3	2	1,5	1
40	—	—	—	3	2	1,5	1
42	4,5	3	4,5	3	2	1,5	1
45	4,5	3	4,5	3	2	1,5	1
48	5	3	5	3	2	1,5	1
50	—	—	—	3	2	1,5	1
52	5	3	5	3	2	1,5	1
56	5,5	4	5,5	4	3	2	1,5
				4	3	2	1,5
60	5,5	4	5,5	4	3	2	1,5
64	6	4	6	4	3	2	1,5
68	6	4	6	4	3	2	1,5
70	—	—	—	4	3	2	1,5

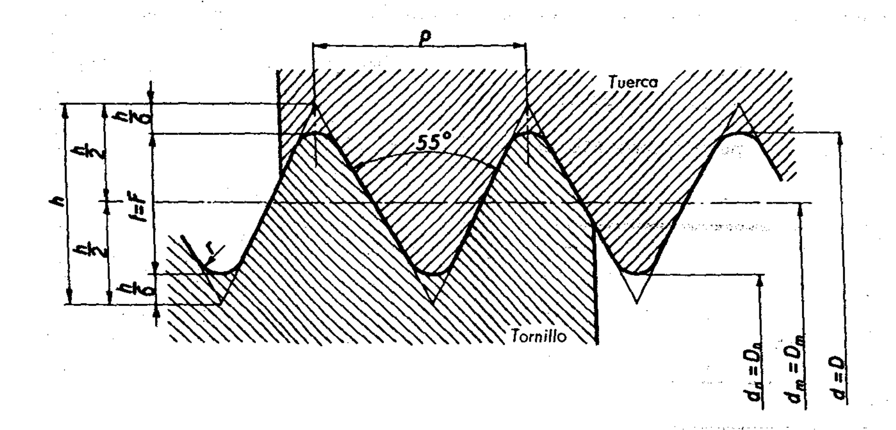


Fig. II, 286. *Elementos geométricos de las roscas Whitworth.*

Así, por ejemplo, para un diámetro de 10 mm, se tiene:

	MA	*MB*	*MC*	*MD*	*ME*
paso en mm	1,5	1	0,75	0,50	0,35

En las tablas 42 a 46 se han transcrito parcialmente las tablas **UNI** correspondientes a las roscas métricas.

Rosca Whitworth. En las tablas **UNI 2708, 2709** se indican las unificaciones relativas a este tipo de rosca. Ésta es de perfil triangular y caracterizada por los elementos siguientes (fig. II, 286):

$$\alpha = 55^\circ \quad \alpha_1 = \alpha_2 = 27°30' \quad h = 0{,}96049\,p$$

$$r = 0{,}13733\,p; \quad f = F = 0{,}64033\,p$$

$$d = D \quad d_m = D_m = d - f; \quad d_n = D_n = d - 2f.$$

El paso queda determinado por el número z de filetes por pulgada. Por tanto lo da la fórmula:

$$p = \frac{25{,}4}{z}\ \text{mm}$$

Se copia la tabla **UNI 2709**, en la que se hallan las medidas de los tornillos Whitworth (tabla 47).

Rosca gas. Es un tipo de rosca empleado en las uniones de tubos. Es una rosca Whitworth de paso muy fino, ya que el paso es siempre igual a 2,309 mm (o sea, 11 hilos por pulgada) desde el diámetro de 33,25 mm hasta el de 163,63 mm.

Esta rosca está unificada en las tablas **UNI 338, 339** que se copian, en las que se indican los elementos característicos (tablas 48 y 49).

En las unificaciones se consideran dos tipos de esta rosca:

1) *Rosca gas cilíndrica:* **UNI 338**
2) *Rosca gas cónica:* **UNI 339**

Para la designación se usan indicaciones convencionales, precisamente un número mixto, que primitivamente debía representar el diámetro real interior del tubo, expresado en pulgadas.

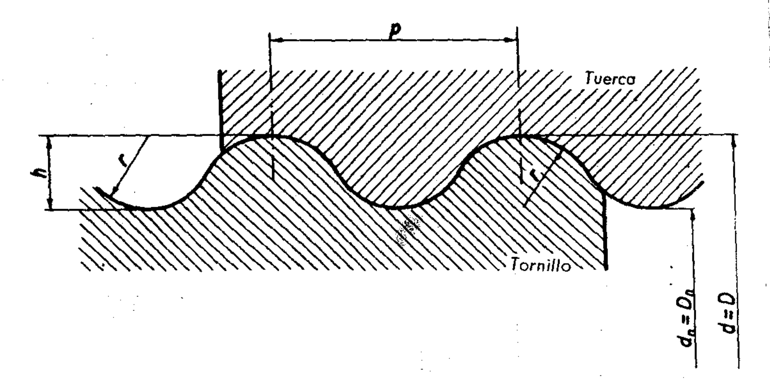


Fig. II, 287. *Rosca Edison (eléctrica).*

Para el tipo cónico, la conicidad normalizada es de 1:16; el diámetro está medido a una distancia dada, indicada en las tablas, del extremo cónico menor (para los tornillos) o del mayor (para las tuercas).

Rosca Edison (eléctrica). Tiene un perfil ondulado (fig. II, 287) y se emplea en electricidad (bombillas, etcétera). Hasta ahora no ha sido unificada.

Roscas para aisladores. Es una rosca de empleo limitado a los aisladores de líneas de electricidad y está unificada en la tabla **UNI 2186**. En la tabla 50 se indican los elementos de estas roscas.

Roscas de tornillos para madera (tirafondos). El filete es triangular, estando roscada la parte ligeramente cónica del vástago; se caracterizan por el hecho de que el intervalo entre dos filetes es de sección bastante mayor que la del filete. El perfil del helicoide está estudiado para que sea fácil el roscado y en cambio resulte difícil el destornillamiento.

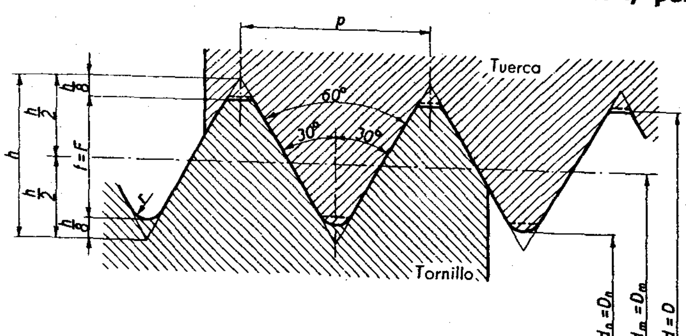
Estas roscas están unificadas en las tablas **UNI** de la **699** a la **705.**

La altura v de la rosca (tabla 51) es aproximadamente 0,15 d; el paso es aproximadamente 0,6 d; $\alpha = 60° \pm 5°$.

En la tabla 52 están indicadas las medidas de los tipos unificados de tornillos para madera o tirafondos.

Rosca métrica, serie MA, para tornillería

(De la tabla UNI 2706)



Ejemplo de designación de una rosca métrica, serie MA, que tiene d = 10 mm:

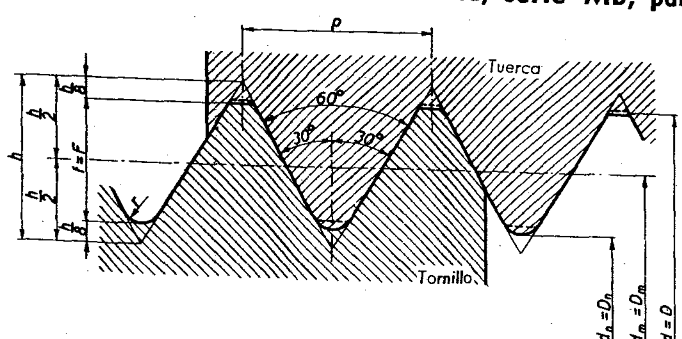
10 MA

Medidas en mm

Indicaciones para la designación	Diámetro exterior de tornillo y de tuerca d=D	Paso p	Diámetro medio de tornillo y de tuerca $d_m = D_m$	Diámetro del núcleo del tornillo y de la tuerca $d_n = D_n$	Sección del núcleo mm²	Profundidad de rosca f=F	Radio de redondeado r
1	1	0,25	0,838	0,676	0,36	0,162	0,03
1,2	1,2	0,25	1,038	0,876	0,60	0,162	0,03
1,4	1,4	0,3	1,205	1,010	0,80	0,195	0,03
1,7	1,7	0,35	1,473	1,246	1,22	0,227	0,04
2	2	0,4	1,740	1,480	1,72	0,260	0,04
2,3	2,3	0,4	2,040	1,780	2,49	0,260	0,04
2,6	2,6	0,45	2,308	2,016	3,19	0,292	0,05
3	3	0,5	2,675	2,350	4,34	0,325	0,05
3,5	3,5	0,6	3,110	2,720	5,81	0,390	0,06
4	4	0,7	3,545	3,090	7,50	0,455	0,08
5	5	0,8	4,480	3,960	12,3	0,520	0,09
6	6	1	5,350	4,700	17,3	0,650	0,11
7	7	1	6,350	5,700	25,5	0,650	0,11
8	8	1,25	7,188	6,376	31,9	0,812	0,14
9	9	1,25	8,188	7,376	42,7	0,812	0,14
10	10	1,5	9,026	8,052	50,9	0,974	0,16
12	12	1,75	10,863	9,726	74,3	1,137	0,19
14	14	2	12,701	11,402	102	1,299	0,22
16	16	2	14,701	13,402	141	1,299	0,22
18	18	2,5	16,376	14,752	171	1,624	0,27
20	20	2,5	18,376	16,752	220	1,624	0,27
22	22	2,5	20,376	18,752	276	1,624	0,27
24	24	3	22,051	20,102	317	1,949	0,32
27	27	3	25,051	23,102	419	1,949	0,32
30	30	3,5	27,727	25,454	509	2,273	0,38
33	33	3,5	30,727	28,454	636	2,273	0,38
36	36	4	33,402	30,804	745	2,598	0,43
39	39	4	36,402	33,804	897	2,598	0,43
42	42	4,5	39,077	36,154	1027	2,923	0,49
45	45	4,5	42,077	39,154	1204	2,923	0,49
48	48	5	44,752	41,504	1353	3,248	0,54
52	52	5	48,752	45,504	1626	3,248	0,54
56	56	5,5	52,428	48,856	1875	3,572	0,60
60	60	5,5	56,428	52,856	2194	3,572	0,60
64	64	6	60,103	56,206	2481	3,897	0,65
68	68	6	64,103	60,206	2847	3,897	0,65
72	72	6	68,103	64,206	3238	3,897	0,65
76	76	6	72,103	68,206	3654	3,897	0,65
80	80	6	76,103	72,206	4095	3,897	0,65

Rosca métrica, serie MB, para tornillería

(De la tabla UNI 2707)



Ejemplo de designación de una rosca métrica, serie MB, que tiene d = 10 mm:

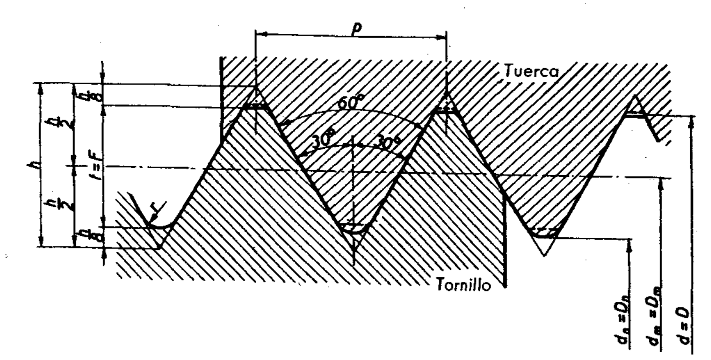
10 MB

Medidas en mm

Indicaciones para la designación	Diámetro exterior de tornillo y de tuerca d = D	Paso p	Diámetro medio de tornillo y de tuerca $d_m = D_m$	Diámetro del núcleo del tornillo y de la tuerca $d_n = D_n$	Sección del núcleo mm²	Profundidad de rosca f = F	Radio de redondeado r
1	1	0,2	0,870	0,740	0,43	0,130	0,02
1,2	1,2	0,2	1,070	0,940	0,69	0,130	0,02
1,4	1,4	0,2	1,270	1,140	1,02	0,130	0,02
1,7	1,7	0,2	1,570	1,440	1,63	0,130	0,02
2	2	0,25	1,838	1,676	2,21	0,162	0,03
2,3	2,3	0,25	2,138	1,976	3,07	0,162	0,03
2,6	2,6	0,35	2,373	2,146	3'62	0,227	0,04
3	3	0,35	2,773	2,546	5,09	0,227	0,04
3,5	3,5	0,35	3,273	3,046	7,29	0,227	0,04
4	4	0,5	3,675	3,350	8,81	0,325	0,05
5	5	0,5	4,675	4,350	14,9	0,325	0,05
6	6	0,75	5,513	5,026	19,8	0,487	0,08
7	7	0,75	6,513	6,026	28,5	0,487	0,08
8	8	1	7,350	6,700	35,3	0,650	0,11
9	9	1	8,350	7,700	46,6	0,650	0,11
10	10	1	9,350	8,700	59,4	0,650	0,11
12	12	1,5	11,026	10,052	79,4	0,974	0,16
14	14	1,5	13,026	12,052	114	0,974	0,16
16	16	1,5	15,026	14,052	155	0,974	0,16
18	18	1,5	17,026	16,052	202	0,974	0,16
20	20	1,5	19,026	18,052	256	0,974	0,16
22	22	1,5	21,026	20,052	316	0,974	0,16
24	24	2	22,701	21,402	360	1,299	0,22
27	27	2	25,701	24,402	468	1,299	0,22
30	30	2	28,701	27,402	509	1,299	0,22
33	33	2	31,701	30,402	726	1,299	0,22
36	36	3	34,051	32,102	809	1,949	0,32
39	39	3	37,051	35,102	968	1,949	0,32
42	42	3	40,051	38,102	1140	1,949	0,32
45	45	3	43,051	41,102	1327	1,949	0,32
48	48	3	46,051	44,102	1528	1,949	0,32
52	52	3	50,051	48,102	1817	1,949	0,32
56	56	4	53,402	50,804	2027	2,598	0,43
60	60	4	57,402	54,804	2359	2,598	0,43
64	64	4	61,402	58,804	2716	2,598	0,43
68	68	4	65,402	62,804	3098	2,598	0,43
72	72	4	69,402	66,804	3505	2,598	0,43
76	76	4	73,402	70,804	3937	2,598	0,43
80	80	4	77,402	74,804	4395	2,598	0,43
85	85	4	82,402	79,804	5002	2,598	0,43
90	90	4	87,402	84,804	5648	2,598	0,43
95	95	4	92,402	89,804	6334	2,598	0,43
100	100	4	97,402	94,804	7059	2,598	0,43
105	105	4	102,402	99,804	7823	2,598	0,43
110	110	4	107,402	104,804	8627	2,598	0,43
115	115	4	112,402	109,804	9469	2,598	0,43
120	120	4	117,402	114,804	10352	2,598	0,43
125	125	4	122,402	119,804	11273	2,598	0,48

Rosca métrica serie MC

(De la tabla UNI 2703)



Ejemplo de designación de una rosca métrica, serie MC, que tiene d = 10 mm:

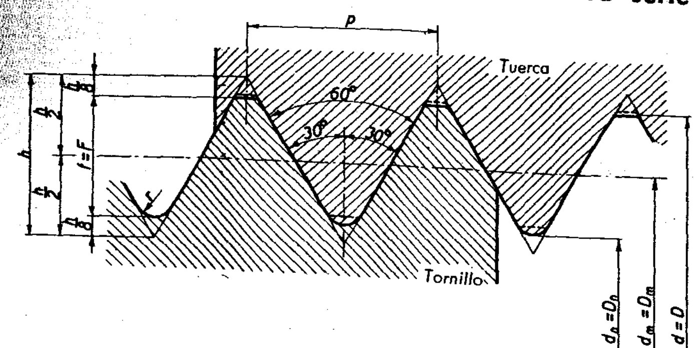
10 MC

Medidas en mm

Indicaciones para la designación	Diámetro exterior de tornillo y de tuerca d = D	Paso p	Diámetro medio de tornillo y de tuerca $d_m = D_m$	Diámetro del núcleo del tornillo y de la tuerca $d_n = D_n$	Sección del núcleo mm²	Profundidad de rosca f = F	Radio de redondeado
3	3	0,25	2,838	2,676	5,62	0,162	0,03
3,5	3,5	0,25	3,338	3,176	7,92	0,162	0,03
4	4	0,35	3,773	3,546	9,88	0,227	0,04
4,5	4,5	0,35	4,273	4,046	12,9	0,227	0,04
5	5	0,35	4,773	4,546	16,2	0,227	0,04
5,5	5,5	0,35	5,273	5,046	20,0	0,227	0,04
6	6	0,5	5,675	5,350	22,5	0,325	0,05
7	7	0,5	6,675	6,350	31,7	0,325	0,05
8	8	0,75	7,513	7,026	38,8	0,487	0,08
9	9	0,75	8,513	8,026	50,6	0,487	0,08
10	10	0,75	9.513	9,026	64,0	0,487	0,08
11	11	0,75	10,513	10,026	78,9	0,487	0,08
12	12	1	11,350	10,700	89,9	0,650	0,11
13	13	1	12,350	11,700	108	0,650	0,11
14	14	1	13,350	12,700	127	0,650	0,11
15	15	1	14,350	13,700	147	0,650	0,11
16	16	1	15,350	14,700	170	0,650	0,11
17	17	1	16,350	15,700	194	0,650	0,11
18	18	1	17,350	16,700	219	0,650	0,11
19	19	1	18,350	17,700	246	0,650	0,11
20	20	1	19,350	18,700	275	0,650	0,11
21	21	1	20,350	19,700	305	0,650	0,11
22	22	1	21,350	20,700	337	0,650	0,11
24	24	1,5	23,026	22,052	382	0,974	0,16
25	25	1,5	24,026	23,052	417	0,974	0,16
26	26	1,5	25,026	24,052	454	0,974	0,16
27	27	1,5	26,026	25,052	493	0,974	0,16
28	28	1,5	27,026	26,052	533	0,974	0,16
30	30	1,5	29,026	28,052	618	0,974	0,16
32	32	1,5	31,026	30,052	709	0,974	0,16
33	33	1,5	32,026	31,052	757	0,974	0,16
34	34	2	32,701	31,402	774	1,299	0,22
36	36	2	34,701	33,402	876	1,299	0,22
38	38	2	36,701	35,402	984	1,299	0,22
39	39	2	37,701	36,402	1041	1,299	0,22
40	40	2	38,701	37,402	1099	1,299	0,22
42	42	2	40,701	39,402	1219	1,299	0,22
45	45	2	43,701	42,402	1412	1,299	0,22
48	48	2	46,701	45,402	1619	1,299	0,22
50	50	2	48,701	47,402	1765	1,299	0,22
52	52	2	50,701	49,402	1917	1,299	0,22
56	56	3	54,051	52,102	2132	1,949	0,32
60	60	3	58,051	56,102	2172	1,949	0,32
64	64	3	62,051	60,102	2837	1,949	0,32
68	68	3	66,051	64,102	3227	1,949	0,32
70	70	3	68,051	66,102	3432	1,949	0,32
75	75	3	73,051	71,102	3971	1,949	0,32

Rosca métrica serie MD

(De la tabla UNI 2704)



Ejemplo de designación de una rosca métrica, serie MD, que tiene d = 10 mm:

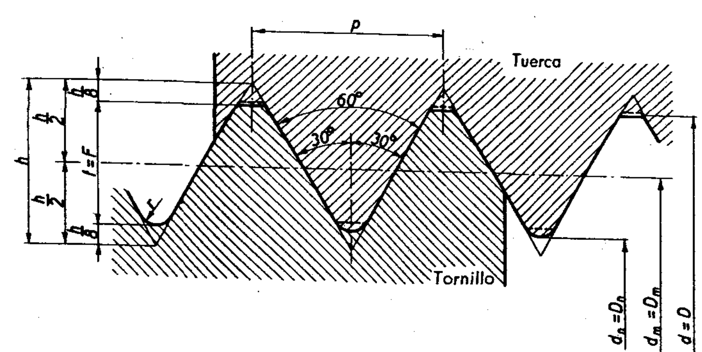
10 MD

Medidas en mm

Indicaciones para la designación	Diámetro exterior de tornillo y de tuerca d = D	Paso p	Diámetro medio de tornillo y de tuerca $d_m = D_m$	Diámetro del núcleo del tornillo y de la tuerca $d_n = D_n$	Sección del núcleo mm²	Profundidad de rosca f = F	Radio de redondeado r
4	4	0,25	3,838	3,676	10,6	0,162	0,03
4,5	4,5	0,25	4,338	4,176	13,7	0,162	0,03
5	5	0,25	4,838	4,676	17,2	0,162	0,03
5,5	5,5	0,25	5,338	5,176	21,0	0,162	0,03
6	6	0,35	5,773	5,546	24,2	0,227	0,04
7	7	0,35	6,773	6,546	33,7	0,227	0,04
8	8	0,5	7,675	7,350	42,4	0,325	0,05
9	9	0,5	8,675	8,350	54,8	0,325	0,05
10	10	0,5	9,675	9,350	68,7	0,325	0,05
11	11	0,5	10,675	10,350	84,1	0,325	0,05
12	12	0,75	11,513	11,026	95,5	0,487	0,08
13	13	0,75	12,513	12,026	114	0,487	0,08
14	14	0,75	13,513	13,026	133	0,487	0,08
15	15	0,75	14,513	14,026	155	0,487	0,08
16	16	0,75	15,513	15,026	177	0,487	0,08
17	17	0,75	16,513	16,026	202	0,487	0,08
18	18	0,75	17,513	17,026	228	0,487	0,08
19	19	0,75	18,513	18,026	255	0,487	0,08
20	20	0,75	19,513	19,026	284	0,487	0,08
21	21	0,75	20,513	20,026	315	0,487	0,08
22	22	0,75	21,513	21,026	347	0,487	0,08
24	24	1	23,350	22,700	405	0,650	0,11
25	25	1	24,350	23,700	441	0,650	0,11
26	26	1	25,350	24,700	479	0,650	0,11
27	27	1	26,350	25,700	419	0.650	0,11
28	28	1	27,350	26,700	560	0,650	0,11
30	30	1	29,350	28,700	647	0,650	0,11
32	32	1	31,350	30,700	740	0,650	0,11
33	33	1	32,350	31,700	789	0,650	0,11
34	34	1,5	33,026	32,052	807	0,974	0,16
36	36	1,5	35,026	34,052	911	0,974	0,16
38	38	1,5	37'026	36,052	1021	0,974	0,16
39	39	1,5	38,026	37,052	1078	0,974	0,16
40	40	1,5	39,026	38,052	1137	0,974	0,16
42	42	1,5	41,026	40,052	1260	0,974	0,16
45	45	1,5	44,026	43,052	1456	0,974	0,16
48	48	1,5	47,026	46,052	1666	0,974	0,16
50	50	1,5	49,026	48,052	1813	0,974	0,16
52	52	1,5	51,026	50,052	1968	0,974	0,16
56	56	2	54,701	53,402	2240	1,299	0,22
60	60	2	58,701	57,402	2588	1,299	0,22
64	64	2	62,701	61,402	2961	1,299	0,22
68	68	2	66,701	65,402	3359	1,299	0,22
70	70	2	68,701	67,402	3568	1,299	0,22
75	75	2	73,701	72,402	4117	1,299	0,22
76	76	2	74,701	73,402	4232	1,299	0,22
80	80	2	78,701	77,402	4705	1,299	0,22
85	85	2	83,701	82,402	5333	1,299	5,22

Rosca métrica serie ME

(De la tabla UNI 2705)



Ejemplo de designación de una rosca métrica, serie ME, que tiene d = 10 mm:

10 ME

Medidas en mm

Indicaciones para la designación	Diámetro exterior de tornillo y de tuerca d = D	Paso p	Diámetro medio de tornillo y de tuerca $d_m = D_m$	Diámetro del núcleo del tornillo y de la tuerca $d_n = D_n$	Sección del núcleo mm²	Profundidad de rosca f = F	Radio de redondeado r
6	6	0,25	5,838	5,676	25,3	0,162	0,03
7	7	0,25	6,838	6,676	35,0	0,162	0,03
8	8	0,35	7,773	7,546	44,7	0,227	0,04
9	9	0,35	8,773	8,546	57,4	0,227	0,04
10	10	0,35	9,773	9,546	71,6	0,227	0.04
11	11	0,35	10,773	10,546	87,4	0,227	0,04
12	12	0,5	11,675	11,350	101	0,325	0,05
13	13	0,5	12,675	12,350	120	0,325	0,05
14	14	0,5	13,675	13,350	140	0,325	0,05
15	15	0,5	14,675	14,350	162	0,325	0,05
16	16	0,5	15,675	15,350	185	0,325	0,05
17	17	0,5	16,670	16,350	210	0,325	0,05
18	18	0,5	17,675	17,350	236	0,325	0,05
19	19	0,5	18,675	18,350	264	0,325	0,05
20	20	0,5	19,675	19,350	294	0,325	0,05
21	21	0,5	20,675	20,350	325	0,325	0,05
22	22	0,5	21,675	21,350	358	0,325	0,05
24	24	0,75	23,513	23,026	416	0,487	0,08
25	25	0,75	24,513	24,026	453	0,487	0,08
26	26	0,75	25,513	25,026	492	0,487	0,08
27	27	0,75	26,513	26,026	532	0,487	0,08
28	28	0,75	27,513	27,026	574	0,487	0,08
30	30	0,75	29,513	29,026	662	0,487	0,08
32	32	0,75	31,513	31,026	756	0,487	0,08
33	33	0,75	32,513	32,026	806	0,487	0,08
34	34	1	33,350	32,700	840	0,650	0,11
36	36	1	35,350	34,700	946	0,650	0,11
38	38	1	37,350	36,700	1058	0,650	0,11
39	39	1	38,350	37,700	1116	0,650	0,11
40	40	1	39,350	38,700	1176	0,650	0,11
42	42	1	41,350	40,700	1301	0,650	0,11
45	45	1	44,350	43,700	1500	0,650	0,11
48	48	1	47,350	46,700	1713	0,650	0,11
50	50	1	49,350	48,700	1863	0,650	0,11
52	52	1	51,350	50,700	2019	0,650	0,11
56	56	1,5	55,026	54,052	2295	0,974	0,16
60	60	1,5	59,026	58,052	2647	0,974	0,16
64	64	1.5	63,026	62,052	3024	0,974	0,16
68	68	1,5	67,026	66,052	3427	0,974	0,16
70	70	1,5	69,026	68,052	3637	0,974	0,16
75	75	1,5	74,026	73,052	4191	0,974	0,16
76	76	1,5	75,026	74,052	4307	0,974	0,16
80	80	1,5	79,026	78,052	4785	0,974	0,16
85	85	1,5	84,026	83,052	5417	0,974	0,16
90	90	1,5	89,026	88,052	6089	0,974	0,16
95	95	1,5	94,026	93,052	6801	0,974	0,16
100	100	1,5	99,026	98,052	7551	0,974	0,16

Rosca Whitworth

UNI 2709

Sustituye las UNIM 3 y 4

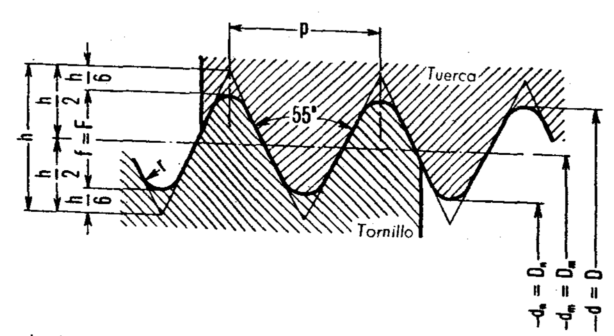
Medidas en mm

$p = \frac{25{,}4}{z}$

$h = 0{,}96049\ p$

$f = 0{,}64033\ p$

$r = 0{,}13733\ p$



Ejemplo de designación de una rosca Whitworth, que tiene d = 38,100 mm
1 ½ W

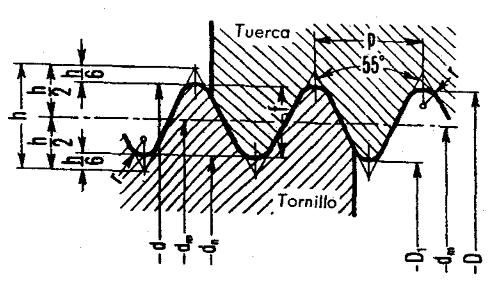
Indicación para la designación	Diámetro exterior de tornillo y de tuerca $d = D$	Diámetro medio de tornillo y de tuerca $d_m = D_m$	Diámetro del núcleo del tornillo y tuerca $d_n = D_n$	Sección del núcleo mm^2	Paso p	Número de filetes por pulgada z	Profundidad de la rosca f	Radio de redondeado r
1/4	6,350	5,537	4,724	17,5	1,270	20	0,813	0,17
5/16	7,938	7,034	6,130	29,5	1,411	18	0,904	0,19
3/8	9,525	8,508	7,491	44,1	1,588	16	1,017	0,22
7/16	11,112	9,950	8,788	60,7	1,814	14	1,162	0,25
1/2	12,700	11,344	9,988	78,4	2,117	12	1,356	0,29
5/8	15,875	14,396	12,917	131	2,309	11	1,479	0,32
3/4	19,050	17,424	15,798	196	2,540	10	1,626	0,35
7/8	22,225	20,418	18,611	272	2,822	9	1,807	0,39
1	25,400	23,367	21,334	357	3,175	8	2,033	0,44
1 1/8	28,575	26,251	23,927	450	3,629	7	2,324	0,50
1 1/4	31,750	29,426	27,102	577	3,629	7	2,324	0,50
1 3/8	34,925	32,214	29,503	684	4,233	6	2,711	0,58
1 1/2	38,100	35,389	32,678	839	4,233	6	2,711	0,58
1 5/8	41,275	38,022	34,769	949	5,080	5	3,253	0,70
1 3/4	44,450	41,197	37,944	1 131	5,080	5	3,253	0,70
1 7/8	47,625	44,011	40,397	1 282	5,644	4 1/2	3,614	0,78
2	50,800	47,186	43,572	1 491	5,644	4 1/2	3,614	0,78
2 1/4	57,150	53,084	49,018	1 887	6,350	4	4,066	0,87
2 1/2	63,500	59,434	55,368	2 408	6,350	4	4,066	0,87
2 5/8	66,675	62,609	58,543	2 692	6,350	4	4,066	0,87
2 3/4	69,850	65,203	60,556	2 880	7,257	3 1/2	4,647	1,00
3	76,200	71,553	66,906	3 516	7,257	3 1/2	4,647	1,00
3 1/4	82,550	77,546	72,542	4 133	7,815	3 1/4	5,004	1,07
3 1/2	88,900	83,896	78,892	4 888	7,815	3 1/4	5,004	1,07
3 3/4	95,250	89,828	84,406	5 595	8,467	3	5,422	1,16
4	101,600	96,178	90,756	6 469	8,467	3	5,422	1,16
4 1/4	107,950	102,293	96,636	7 334	8,835	2 7/8	5,657	1,21
4 1/2	114,300	108,643	102,988	8 330	8,835	2 7/8	5,657	1,21
4 3/4	120,650	114,736	108,822	9 301	9,236	2 3/4	5,914	1,27
5	127,000	121,086	115,172	10 418	9,236	2 3/4	5,914	1,27
5 1/4	133,350	127,154	120,958	11 491	9,676	2 5/8	6,196	1,33
5 1/2	139,700	133,504	127,308	12 729	9,676	2 5/8	6,196	1,33
5 3/4	146,050	139,544	133,038	13 901	10,160	2 1/2	6,506	1,40
6	152,400	145,894	139,388	15 260	10,160	2 1/2	6,506	1,40

1. Las roscas indicadas en caracteres finos se han de emplear únicamente en caso de absoluta necesidad.

2. Para el método de cálculo de los elementos geométricos de las roscas Whitworth, véase UNI 2708.

UNI	Rosca gas Sustituye UNIM 20	338 28 enero 1936-XIV

$h = 0{,}96049\ p$
$f = 0{,}64033\ p$
$r = 0{,}13733\ p$
$D = d$
$D_1 = d_n$



Ejemplo de designación de una rosca gas de 1 ½ Gas:
1 ½ Gas

En caso de espiral izquierda, añadir la indicación correspondiente; ejemplo:

1 ½ Gas izq.

Indicación convencional para la designación *	Diámetro de rosca **d** mm	Paso **p** mm	Número de espiras en 25,4 mm	Diámetro medio d_m mm	Diámetro desde el fondo de los filetes del tornillo d_n mm
1/8	9,73	0,907	28	9,147	8,57
1/4	**13,16**	**1,337**	**19**	**12,301**	**11,45**
3/8	**16,66**	**1,337**	**19**	**15,806**	**14,95**
1/2	**20,96**	**1,814**	**14**	**19,793**	**18,63**
5/8**	22,91	1,814	14	21,749	20,59
3/4	**26,44**	**1,814**	**14**	**25,279**	**24,12**
7/8**	30,20	1,814	14	29,039	27,88
1	**33,25**	**2,309**	**11**	**31,770**	**30,29**
1 1/8**	37,90	2,309	11	36,417	34,94
1 1/4	**41,91**	**2,309**	**11**	**40,431**	**38,95**
1 3/8**	44,32	2,309	11	42,844	41,37
1 1/2	**47,80**	**2,309**	**11**	**46,324**	**44,85**
1 3/4**	53,75	2,309	11	52,267	50,79
2	**59,61**	**2,309**	**11**	**58,135**	**56,66**
2 1/4	65,71	2,309	11	64,231	62,75
2 3/8**	69,40	2,309	11	67,918	66,44
2 1/2	**75,18**	**2,309**	**11**	**73,705**	**72,23**
2 3/4**	81,53	2,309	11	80,055	78,58
3	**87,88**	**2,309**	**11**	**86,405**	**84,93**
3 1/4**	93,98	2,309	11	92,501	91,02
3 1/2	100,33	2,309	11	98,851	97,37
3 3/4**	106,68	2,309	11	105,201	103,72
4	**113,03**	**2,309**	**11**	**111,551**	**110,07**
4 1/2	125,73	2,309	11	124,251	122,77
5	**138,43**	**2,309**	**11**	**136,951**	**135,47**
5 1/2**	151,13	2,309	11	149,651	148,17
6	**163,83**	**2,309**	**11**	**162,351**	**160,87**

* La designación es convencional: primitivamente su valor expresaba la medida del diámetro interior del tubo en pulgadas.

** Roscas que no tienen aplicación en los tubos de gas y sus correspondientes uniones roscadas.

Las roscas indicadas en caracteres finos solamente se han de emplear en caso de absoluta necesidad.

Rosca gas cónica: UNI 339.

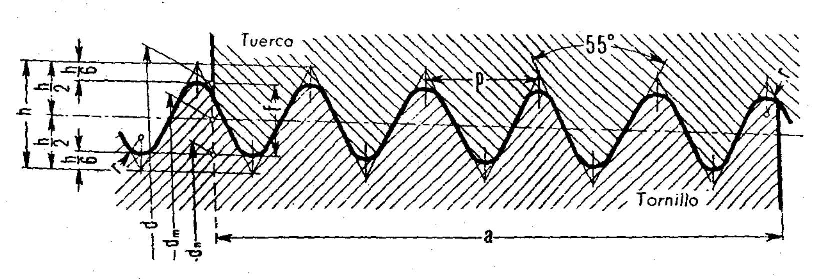
UNI	**Rosca gas cónica** Sustituye UNIM 21	339 28 enero 1936-XIV

$h = 0{,}96049\ p$

$f = 0{,}64033\ p$

$r = 0{,}13733\ p$

Conicidad: 1:16
(véase punto 3)



Ejemplo de designación de una rosca gas cónica de 1 ½ Gas:
1 ½ Gas cónica

En caso de espiral izquierda, añadir la indicación correspondiente; ejemplo:
1 ½ Gas cónica izq.

Indicaciones convencionales para la designación *	Diámetro de rosca **d** mm	Paso **p** mm	Número de espiras por pulgada (25,4 mm)	Diámetro medio d_m mm	Diámetro desde el fondo de los filetes del tornillo d_n mm	Posición del plano de medida de los diámetros sobre el tornillo ** **a** mín mm	máx mm
1/8	9,73	0,907	28	9,147	8,57	4	5,5
1/4	**13,16**	**1,337**	**19**	**12,301**	**11,45**	**5**	**7**
3/8	**16,66**	**1,337**	**19**	**15,806**	**14,95**	**6**	**8**
1/2	**20,96**	**1,814**	**14**	**19,793**	**18,63**	**6**	**9**
5/8 ***	22,91	1,814	14	21,749	20,59	6	9
3/4	**26,44**	**1,814**	**14**	**25,279**	**24,12**	**10**	**13**
7/8 ***	30,20	1,814	14	29,039	27,88	10	13
1	**33,25**	**2,309**	**11**	**31,770**	**30,29**	**10**	**14**
1 1/8 ***	37,90	2,309	11	36,417	34,94	10	14
1 1/4	**41,91**	**2,309**	**11**	**40,431**	**38,95**	**13**	**17**
1 3/8 ***	44,32	2,309	11	42,844	41,37	13	17
1 1/2	**47,80**	**2,309**	**11**	**46,324**	**44,85**	**13**	**17**
1 3/4 ***	53,75	2,309	11	52,267	50,79	16	20
2	**59,61**	**2,309**	**11**	**58,135**	**56,66**	**16**	**20**
2 1/4	65,71	2,309	11	64,231	62,75	18	23
2 3/8 ***	69,40	2,309	11	67,918	66,44	18	23
2 1/2	**75,18**	**2,309**	**11**	**73,705**	**72,23**	**18**	**23**
2 3/4 ***	81,53	2,309	11	80,055	78,58	21	26
3	**87,88**	**2,309**	**11**	**86,405**	**84,93**	**21**	**26**
3 1/4 ***	93,98	2,309	11	92,501	91,02	22	28
3 1/2	100,33	2,309	11	98,851	97,37	22	28
3 3/4 ***	106,68	2,309	11	105,201	103,72	22	28
4	**113,03**	**2,309**	**11**	**111,551**	**110,07**	**25**	**32**
4 1/2	125,73	2,309	11	124,251	122,77	25	32
5	**138,43**	**2,309**	**11**	**136,951**	**135,47**	**28**	**35**
5 1/2 ***	151,13	2,309	11	149,651	148,17	32	39
6	**163,83**	**2,309**	**11**	**162,351**	**160,87**	**35**	**42**

* La designación es convencional: primitivamente su valor expresado en pulgadas representaba la medida del diámetro interior efectivo del tubo

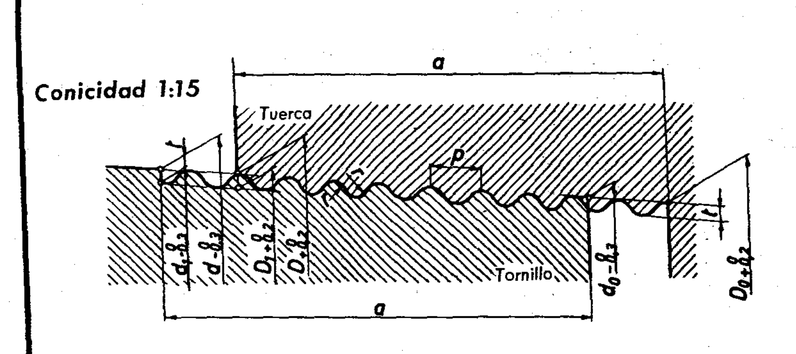
** El plano de medida de los diámetros de la rosca gas cónica se entiende situado para el tornillo a la distancia **a** de su extremo cónico menor, y para la tuerca, en consecuencia, de su extremo mayor.

*** Roscas que no tienen aplicación en los tubos de gas y sus correspondientes uniones roscadas.

1. Las roscas indicadas en caracteres finos se han de emplear sólo en casos excepcionales de absoluta necesidad.
2. El paso de la rosca gas cónica se entiende medido paralelamente al eje del cono; el filete se corresponde con el eje del triángulo generador colocado perpendicularmente a la generatriz del cono.
3. El valor base de la conicidad es 1:16. En las unificaciones de cada elemento se han de indicar los valores extremos tolerados (por ejemplo: para los tubos de gas la conicidad está comprendida entre 1:16 y 1:32; para las uniones de fundición maleable entre 1:16 y 1:24).

Rosca gas: UNI 339

Tabla 50



Rosca cónica para aisladores eléctricos de línea

(De la tabla UNI 2186)

Ejemplo de designación de una rosca cónica para aisladores eléctricos de línea, que tienen d=21,7 mm y a=45 mm

Rosca 22 × 45 UNI 2186

Medidas en mm

Indicaciones para la designación	Paso p	Posición del plano de medida de los diámetros d y d_1 a	Tornillo: Diámetro de rosca d	Tornillo: Diámetro de núcleo d_1	Tuerca: Diámetro desde el fondo de los filetes D	Tuerca: Diámetro desde el vértice de los filetes D_1	t	r	d_0	D_0
14 × 25	3,5	25	13,7	11,7	13,3	11,3	1	1,02	12,0	11,6
16 × 25	3,5	25	15,7	13,7	15,3	13,3	1	1,02	14,0	13,6
18 × 30	3,5	30	17,7	15,7	17,3	15,3	1	1,02	15,7	15,3
20 × 35	3,5	35	19,7	17,7	19,3	17,3	1	1,02	17,4	17
22 × 45	3,5	45	21,7	19,7	21,3	19,3	1	1,02	18,4	18
22 × 60	3,5	60	21,7	19,7	21,3	19,3	1	1,02	17,7	17,3
24 × 50	6	50	23,7	20,7	23,3	20,3	1,5	1,87	20,4	20
27 × 50	6	50	26,7	23,7	26,3	23,3	1,5	1,87	23,4	23
27 × 65	6	65	26,7	23,7	26,3	23,3	1,5	1,87	22,4	22

Los diámetros **d** y $\mathbf{d_1}$ de la rosca se entienden medidos a la distancia **a** del extremo cónico menor.

Rosca trapecial. Se emplea para tornillos de maniobra y de traslación y ha sustituido casi por completo las antiguas roscas de perfil cuadrado o rectangular (no unificadas). Las roscas de *perfil cuadrado* se pueden ver aún en alguna prensa antigua, en algún torno de fabricación antigua, etc.; pero por lo general están completamente abandonadas.

La *rosca trapecial* tiene como perfil un trapecio isósceles; está unificada en las tablas **UNIM 124-126;** es también un tornillo simétrico y sus elementos están indicados en las tablas UNI, que se reproducen íntegramente.

Esta rosca presenta, comparada con las roscas triangulares y cuadradas, notable robustez, mayor facilidad de entrada y, si la tuerca está formada por dos medias tuercas, hay la posibilidad de corregir el juego que se produce por desgaste. Los cantos del truncamiento son redondeados en la base y vivos en el vértice.

El juego *b* entre la base del filete del tornillo y el vértice del filete de la tuerca es bastante grande y aumenta al aumentar el diámetro; el juego *a* entre el vértice del filete del tornillo y la base del filete de la tuerca es una fracción de *b*.

De esta rosca hay tres tipos unificados:

1) *Rosca trapecial normal* **TpN:** *tabla* **UNIM 124.**
2) *Rosca trapecial fina* **TpF:** *tabla* **UNIM 125.**
3) *Rosca trapecial basta* **TpG:** *tabla* **UNIM 126.**

Estas tres tablas están reproducidas en este texto (tablas 53, 54, 55).

Rosca en diente de sierra. Se emplea en los tornillos de maniobra, cuando se requieren grandes esfuerzos, de dirección y sentido constante. No es simétrica y su triángulo generador es rectángulo (tabla 56)

Tabla 51

Roscas de los tornillos para madera

p≈0,6d
v≈0,15d
α=60°±5°

Medidas en mm

d	p	v	d	p	v
1,4	0,8	0,25	6	2,5	0,85
2	1	0,30	7	3,5	1,15
2,6	1,25	0,40	8	3,5	1,15
3	1,5	0,50	10	5	1,70
3,5	1,5	0,50	12	5	1,70
4	2	0,65	14	6	1,90
4,5	2	0,65	16	6	1,90
5	2,5	0,85	18	7	2,20

con $\alpha = 30°$. La base del filete del tornillo está redondeada; el vértice de los filetes y la base del filete de la tuerca están truncados con cantos vivos.

Los elementos que caracterizan esta rosca están indicados en las tablas **UNIM**, que unifican esta rosca, y que reproducidas son las siguientes:

1) *Rosca en diente de sierra normal* **SgN: UNIM 127** (tabla 56);

2) *Rosca en diente de sierra fina* **SgF: UNIM 128** (tabla 57).

Hay un sensible juego axial (0,2 mm) entre tornillo y tuerca.

Por necesidades de construcción, el flanco portante del tornillo que debería ser perpendicular al eje, tiene una ligera inclinación de 3° respecto a la normal.

Hay aún otros varios tipos de roscas no unificados, empleados en casos especiales en industrias extranjeras principalmente. Entre ellos recordaremos los siguientes:

Rosca Lowenherz, de perfil simétrico triangular truncado, de cantos vivos tanto en la base como en los vértices de los filetes; empleada en instrumentos de medida y ópticos, para diámetros menores de 10 mm (tabla 58).

Rosca SAE *(Society Autom. Engineers);* **ASME** *(American Society Mechanical Engineers);* **American Standard.** Adoptan el perfil *Sellers* de rosca, caracterizado por (tabla 60);

$$\alpha = 60° \quad \alpha_1 = \alpha_2 = 30° \quad p = \frac{25,4}{z}; \quad h = 0,8660\, p$$

$$f = 0,6495\, p; \quad F = 0,5413\, p$$

El truncamiento del vértice del filete del tornillo está a $h/8$ del vértice del triángulo generador; el truncamiento correspondiente de la tuerca está a $h/4$.

Rosca BA *(British Association) o Thury.* Primitivamente francesa (Thury), unificada posteriormente en Gran Bretaña, se emplea en relojería y mecánica fina; tiene el perfil simétrico triangular fuertemente redondeado (tabla 59) con las características indicadas en la tabla.

57. Designación de las roscas en los dibujos

En los dibujos se indican las roscas con la sigla correspondiente, precedida de un número que indica su diámetro y seguida de indicaciones complementarias cuando proceda.

Si no se indica lo contrario, se entiende que el tornillo es de un solo filete y con rosca derecha.

En el caso de roscas de dos o tres entradas, se añade el símbolo 2 *ent.*, 3 *ent.*, etcétera.

En el caso de rosca izquierda, se añade *izq.*

Todas las roscas no unificadas se indican en los dibujos con su nombre, seguido del paso en mm o del número de hilos por pulgada, y las otras indicaciones eventuales sobre el número de filetes y sentido de la rosca.

Para mayor claridad se han reunido en una tabla varios ejemplos de designaciones, comprendiendo todos los casos que se pueden presentar, con la indicación del significado detallado de dichas designaciones (tabla 61).

58. Generalidades sobre los tornillos y los pernos

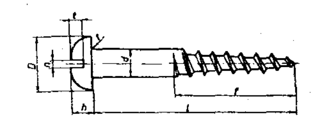
El campo más extenso de aplicación de las roscas de que se ha tratado es el de los tornillos y los pernos, que sirven para unir entre sí dos o más piezas.

Los tornillos están formados por un vástago parcial o totalmente roscado, provisto frecuentemente de una cabeza; tienen formas muy diversas, tanto por la cabeza como por el extremo, para poder satisfacer todas las exigencias. Los tornillos que unen una pieza con otra, atornillándose en una de ellas y fijando la otra por la presión ejercida por su cabeza, se llaman *tornillos de fijación.*

En las páginas siguientes se presentarán en varias tablas los numerosos tipos unificados de tornillos y sus partes (cabezas y extremos).

Los *pernos* son tornillos provistos de cabeza y tuerca prismáticas iguales. Un perno une dos piezas pasando a través de los agujeros practicados en las mismas y apretándolas entre la cabeza y la tuerca. Para usar los pernos es pues necesario practicar previamente los agujeros convenientes a través de las piezas.

Tabla 52

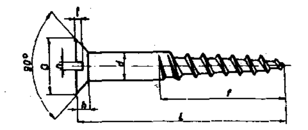


Ejemplo de designación de un tornillo de cabeza redonda, que tiene d= 3 milímetros y l= 10 mm:

3 × 10 UNI 701

Medidas en mm

Indicaciones para la designación: d	l	D	h	n	t	r
1,4	de 5 a 25	2,7	1,2	0,6	0,6	—
2	» 5 » 25	3,8	1,7	0,6	0,8	—
2,6	» 5 » 30	5	2	0,8	1	—
3	» 7 » 40	5,7	2,2	1	1,3	0,2
3,5	» 10 » 50	6,6	2,5	1	1,5	0,2
4	» 10 » 60	7,6	2,8	1	1,7	0,2
4,5	» 10 » 70	8,5	3,2	1,2	1,8	0,2
5	» 12 » 80	9,5	3,5	1,2	2	0,2
6	» 20 » 150	11,4	4,2	1,5	2,5	0,5
7	» 25 » 150	13,3	5	1,5	2,8	0,5
8	» 30 » 150	15,2	5,7	2	3,2	0,5
10	» 50 » 150	19	7,1	2,5	4,2	0,5

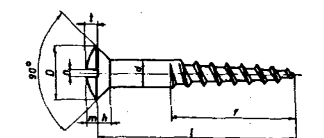


Ejemplo de designación de un tornillo de cabeza avellanada plana, que tiene d=3 mm y l=10 mm:

3 × 10 UNI 702

Medidas en mm

Indicaciones para la designación: d	l	D	h ≈	n	t
1,4	de 5 a 25	2,8	0,7	0,6	0,35
2	» 5 » 25	4	1	0,6	0,5
2,6	» 5 » 30	5,2	1,3	0,8	0,7
3	» 7 » 40	6	1,5	1	0,8
3,5	» 10 » 50	7	1,7	1	0,9
4	» 10 » 60	8	2	1	1,1
4,5	» 10 » 70	9	2,2	1,2	1,2
5	» 12 » 80	10	2,5	1,2	1,4
6	» 20 » 150	12	3	1,5	1,6
7	» 25 » 150	14	3,5	1,5	1,9
8	» 30 » 150	16	4	2	2,2
10	» 50 » 150	20	5	2,5	2,8

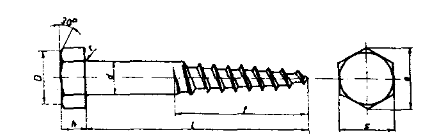


Ejemplo de designación de un tornillo de cabeza en gota de sebo, que tiene d=3 mm y l=10 mm:

3 × 10 UNI 703

Medidas en mm

Indicaciones para la designación: d	l	D	h ≈	m	n	t
1,4	de 5 a 25	2,7	0,6	0,5	0,6	0,6
2	» 5 » 25	3,8	0,9	0,7	0,6	0,8
2,6	» 5 » 30	5	1,2	0,9	0,8	1
3	» 7 » 40	5,7	1,4	1	1	1,1
3,5	» 10 » 50	6,6	1,6	1,2	1	1,2
4	» 10 » 60	7,6	1,8	1,4	1	1,5
4,5	» 10 » 70	8,5	2	1,6	1,2	1,7
5	» 12 » 80	9,5	2,2	1,7	1,2	1,9
6	» 20 » 150	11,4	2,7	2,1	1,5	2,2
7	» 25 » 150	13,3	3,1	2,4	1,5	2,5
8	» 30 » 150	15,2	3,6	2,8	2	2,9
10	» 50 » 150	19	4,5	3,5	2,5	3,8

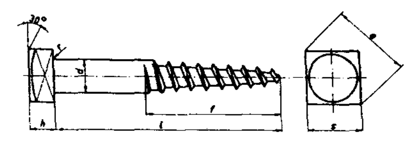


Ejemplo de designación de un tornillo de cabeza hexagonal, que tiene d=10 mm y l=100 mm:

10 × 100 UNI 704

Medidas en mm

Indicaciones para la designación: d	l	s	e ≈	h	r
6	de 25 a 80	10	11,5	4,5	0,5
7	» 30 » 80	12	13,8	5	0,5
8	» 30 » 130	14	16,2	6	0,5
10	» 40 » 150	17	19,6	7	0,5
12	» 50 » 175	19	21,9	9	0,5
14	» 60 » 225	22	25,4	10	1
16	» 60 » 250	27	31,2	12	1
18	» 70 » 300	30	34,6	12	1



Ejemplo de designación de un tornillo de cabeza cuadrada, que tiene d=10 mm y l=100 mm:

10 × 100 UNI 705

Medidas en mm

Indicaciones para la designación: d	l	s	e ≈	h	r
6	de 25 a 30	10	14,1	4,5	0,5
7	» 30 » 80	12	17	5	0,5
8	» 30 » 130	14	19,8	6	0,5
10	» 40 » 150	17	24	7	0,5
12	» 50 » 175	19	26,9	9	0,5
14	» 60 » 225	22	31,1	10	1
16	» 60 » 250	27	38,2	12	1
18	» 70 » 300	30	42,4	12	1

Tabla 53

ROSCA TRAPECIAL NORMAL - TpN

UNIM 124

Medidas en mm

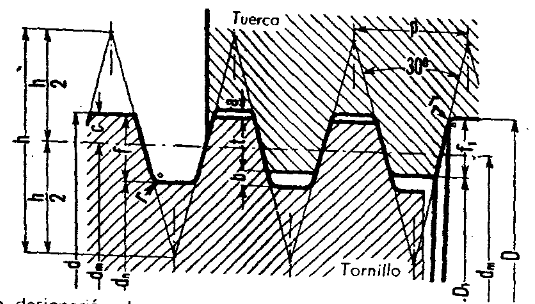
$h = 1{,}866\ p$

$f = 0{,}5\ p + a$

$f_1 = 0{,}5\ p + 2a - b$

$t = 0{,}5\ p + a - b$

$c = 0{,}25\ p$



Ejemplo de designación de una rosca trapecial normal, que tiene $d = 80$ mm:
80 TpN

En el caso de roscas de varias entradas o de roscas con espiral izquierda, añadir las indicaciones correspondientes: ejemplo (para 2 entradas, rosca izquierda):
80 TpN 2 ent. izq.

Indicaciones para la designación	TORNILLO					TUERCA							JUEGO	
	d	d_n	Sección del núcleo mm²	f	r	D	D_1	f_1	r_1 máx	p(*)	d_m	t	a	b
10	10	6,5	33	1,75	0,25	10,5	7,5	1,5	0,20	3	8,5	1,25	0,25	0,5
12	12	8,5	57	1,75	0,25	12,5	9,5	1,5	0,20	3	10,5	1,25	0,25	0,5
14	14	9,5	71	2,25	0,25	14,5	10,5	2	0,20	4	12	1,75	0,25	0,5
16	16	11,5	104	2,25	0,25	16,5	12,5	2	0,20	4	14	1,75	0,25	0,5
18	18	13,5	143	2,25	0,25	18,5	14,5	2	0,20	4	16	1,75	0,25	0,5
20	20	15,5	189	2,25	0,25	20,5	16,5	2	0,20	4	18	1,75	0,25	0,5
22	22	16,5	214	2,75	0,25	22,5	18	2,25	0,20	5	19,5	2	0,25	0,75
25	25	19,5	299	2,75	0,25	25,5	21	2,25	0,20	5	22,5	2	0,25	0,75
28	28	22,5	398	2,75	0,25	28,5	24	2,25	0,20	5	25,5	2	0,25	0,75
30	30	23,5	434	3,25	0,25	30,5	25	2,75	0,20	6	27	2,5	0,25	0,75
32	32	25,5	511	3,25	0,25	32,5	27	2,75	0,20	6	29	2,5	0,25	0,75
34	34	27,5	594	3,25	0,25	34,5	29	2,75	0,20	6	31	2,5	0,25	0,75
36	36	29,5	683	3,25	0,25	36,5	31	2,75	0,20	6	33	2,5	0,25	0,75
38	38	30,5	731	3,75	0,25	38,5	32	3,25	0,20	7	34,5	3	0,25	0,75
40	40	32,5	830	3,75	0,25	40,5	34	3,25	0,20	7	36,5	3	0,25	0,75
42	42	34,5	935	3,75	0,25	42,5	36	3,25	0,20	7	38,5	3	0,25	0,75
45	45	36,5	1 046	4,25	0,25	45,5	38	3,75	0,20	8	41	3,5	0,25	0,75
48	48	39,5	1 225	4,25	0,25	48,5	41	3,75	0,20	8	44	3,5	0,25	0,75
50	50	41,5	1 353	4,25	0,25	50,5	43	3,75	0,20	8	46	3,5	0,25	0,75
55	55	46,5	1 698	4,75	0,25	55,5	48	4,25	0,20	9	51,5	4	0,25	0,75
60	60	50,5	2 003	4,75	0,25	60,5	52	4,25	0,20	9	55,5	4	0,25	0,75
63	63	53,5	2 248	4,75	0,25	63,5	55	4,25	0,20	9	58,5	4	0,25	0,75
68	68	57,5	2 597	5,25	0,25	68,5	59	4,75	0,20	10	63	4,5	0,25	0,75
70	70	59,5	2 781	5,25	0,25	70,5	61	4,75	0,20	10	65	4,5	0,25	0,75
75	75	64,5	3 267	5,25	0,25	75,5	66	4,75	0,20	10	70	4,5	0,25	0,75
80	80	69,5	3 794	5,25	0,25	80,5	71	4,75	0,20	10	75	4,5	0,25	0,75
85	85	72,5	4 128	6,25	0,25	85,5	74	5,75	0,20	12	79	5,5	0,25	0,75
90	90	77,5	4 717	6,25	0,25	90,5	79	5,75	0,20	12	84	5,5	0,25	0,75
95	95	82,5	5 346	6,25	0,25	95,5	84	5,75	0,20	12	89	5,5	0,25	0,75
100	100	87,5	6 013	6,25	0,25	100,5	89	5,75	0,20	12	94	5,5	0,25	0,75
110	110	97,5	7 466	6,25	0,25	110,5	99	5,75	0,20	12	104	5,5	0,25	0,75
120	120	105	8 659	7,5	0,5	121	108	6,5	0,40	14	113	6	0,5	1,5
130	130	115	10 387	7,5	0,5	131	118	6,5	0,40	14	123	6	0,5	1,5
140	140	125	12 272	7,5	0,5	141	128	6,5	0,40	14	133	6	0,5	1,5
150	150	133	13 893	8,5	0,5	151	136	7,5	0,40	16	142	7	0,5	1,5
160	160	143	16 061	8,5	0,5	161	146	7,5	0,40	16	152	7	0,5	1,5
170	170	153	18 385	8,5	0,5	171	156	7,5	0,40	16	162	7	0,5	1,5
180	180	161	20 358	9,5	0,5	181	164	8,5	0,40	18	171	8	0,5	1,5
190	190	171	22 966	9,5	0,5	191	174	8,5	0,40	18	181	8	0,5	1,5
200	200	181	25 730	9,5	0,5	201	184	8,5	0,40	18	191	8	0,5	1,5
220	220	199	31 103	10,5	0,5	221	202	9,5	0,40	20	210	9	0,5	1,5
250	250	227	40 471	11,5	0,5	251	230	10,5	0,40	22	239	10	0,5	1,5
280	280	255	51 071	12,5	0,5	281	258	11,5	0,40	24	268	11	0,5	1,5
300	300	273	58 535	13,5	0,5	301	276	12,5	0,40	26	287	12	0,5	1,5

(*) Si excepcionalmente fuese necesario recurrir a una rosca de un diámetro no incluido en esta tabla, el paso correspondiente deberá ser igual al correspondiente al diámetro inmediatamente superior al considerado.

1. Las roscas indicadas en caracteres finos se han de emplear solamente en casos de absoluta necesidad.

Tabla 54

UNIM	ROSCA TRAPECIAL FINA - TpF	125 10 abril 1928

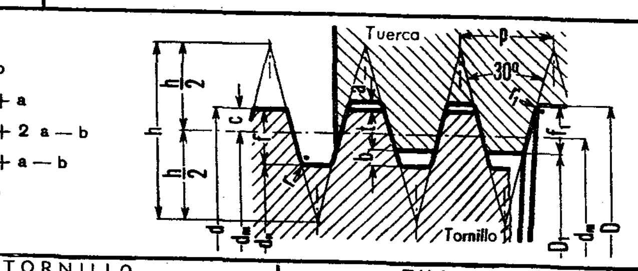
$h = 1{,}866\ p$

$f = 0{,}5\ p + a$

$f_1 = 0{,}5\ p + 2\ a - b$

$t = 0{,}5\ p + a - b$

$c = 0{,}25\ p$



Ejemplo de designación de una rosca trapecial fina, que tiene d = 80 mm, una entrada, rosca derecha:

Ø 80 TpF

En el caso de varias entradas o de rosca izquierda se añadirá la indicación correspondiente. Ejemplo:

Ø 80 TpF. 2 ent. izq.

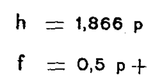
TORNILLO					TUERCA							JUEGO	
d mm.	d_n mm.	Sección del núcleo mm²	f mm.	r mm.	D mm.	D_1 mm.	f_1 mm.	r_1 (1) mm.	p mm.	d_m mm.	t mm.	a mm.	b mm.
10	7,5	44	1,25	0,25	10,5	8,5	1,00	0,20	2	9	0,75	0,25	0,5
12	9,5	71	1,25	0,25	12,5	10,5	1,00	0,20	2	11	0,75	0,25	0,5
14	11,5	104	1,25	0,25	14,5	12,5	1,00	0,20	2	13	0,75	0,25	0,5
16	13,5	143	1,25	0,25	16,5	14,5	1,00	0,20	2	15	0,75	0,25	0,5
18	15,5	189	1,25	0,25	18,5	16,5	1,00	0,20	2	17	0,75	0,25	0,5
20	17,5	241	1,25	0,25	20,5	18,5	1,00	0,20	2	19	0,75	0,25	0,5
(22)	18,5	269	1,75	0,25	22,5	19,5	1,50	0,20	3	20,5	1,25	0,25	0,5
25	21,5	363	1,75	0,25	25,5	22,5	1,50	0,20	3	23,5	1,25	0,25	0,5
(28)	24,5	471	1,75	0,25	28,5	25,5	1,50	0,20	3	26,5	1,25	0,25	0,5
30	26,5	552	1,75	0,25	30,5	27,5	1,50	0,20	3	28,5	1,25	0,25	0,5
(32)	28,5	638	1,75	0,25	32,5	29,5	1,50	0,20	3	30,5	1,25	0,25	0,5
35	31,5	779	1,75	0,25	35,5	32,5	1,50	0,20	3	33,5	1,25	0,25	0,5
(38)	34,5	935	1,75	0,25	38,5	35,5	1,50	0,20	3	36,5	1,25	0,25	0,5
40	36,5	1046	1,75	0,25	40,5	37,5	1,50	0,20	3	38,5	1,25	0,25	0,5
(42)	38,5	1164	1,75	0,25	42,5	39,5	1,50	0,20	3	40,5	1,25	0,25	0,5
45	41,5	1363	1,75	0,25	45,5	42,5	1,50	0,20	3	43,5	1,25	0,25	0,5
(48)	44,5	1555	1,75	0,25	48,5	45,5	1,50	0,20	3	46,5	1,25	0,25	0,5
50	46,5	1698	1,75	0,25	50,5	47,5	1,50	0,20	3	48,5	1,25	0,25	0,5
(55)	51,5	2083	1,75	0,25	55,5	52,5	1,50	0,20	3	53,5	1,25	0,25	0,5
60	56,5	2507	1,75	0,25	60,5	57,5	1,50	0,20	3	58,5	1,25	0,25	0,5
(65)	60,5	2875	2,25	0,25	65,5	61,5	2,00	0,20	4	63	1,75	0,25	0,5
70	65,5	3370	2,25	0,25	70,5	66,5	2,00	0,20	4	68	1,75	0,25	0,5
(75)	70,5	3904	2,25	0,25	75,5	71,5	2,00	0,20	4	73	1,75	0,25	0,5
80	75,5	4477	2,25	0,25	80,5	76,5	2,00	0,20	4	78	1,75	0,25	0,5
(85)	80,5	5090	2,25	0,25	85,5	81,5	2,00	0,20	4	83	1,75	0,25	0,5
90	85,5	5741	2,25	0,25	90,5	86,5	2,00	0,20	4	88	1,75	0,25	0,5
(95)	90,5	6433	2,25	0,25	95,5	91,5	2,00	0,20	4	93	1,75	0,25	0,5
100	95,5	7163	2,25	0,25	100,5	96,5	2,00	0,20	4	98	1,75	0,25	0,5
(110)	105,5	8742	2,25	0,25	110,5	106,5	2,00	0,20	4	108	1,75	0,25	0,5
120	113,5	10118	3,25	0,25	120,5	115	2,75	0,20	6	117	2,5	0,25	0,75
(130)	123,5	11979	3,25	0,25	130,5	125	2,75	0,20	6	127	2,5	0,25	0,75
140	133,5	13998	3,25	0,25	140,5	135	2,75	0,20	6	137	2,5	0,25	0,75
(150)	143,5	16173	3,25	0,25	150,5	145	2,75	0,20	6	147	2,5	0,25	0,75
160	153,5	18506	3,25	0,25	160,5	155	2,75	0,20	6	157	2,5	0,25	0,75
(170)	163,5	20996	3,25	0,25	170,5	165	2,75	0,20	6	167	2,5	0,25	0,75
180	171,5	23100	4,25	0,25	180,5	173	3,75	0,20	8	176	3,5	0,25	0,75
(190)	181,5	25873	4,25	0,25	190,5	183	3,75	0,20	8	186	3,5	0,25	0,75
200	191,5	28802	4,25	0,25	200,5	193	3,75	0,20	8	196	3,5	0,25	0,75
220	211,5	35133	4,25	0,25	220,5	213	3,75	0,20	8	216	3,5	0,25	0,75
250	237,5	44301	6,25	0,25	250,5	239	5,75	0,20	12	244	5,5	0,25	0,75
280	267,5	56200	6,25	0,25	280,5	269	5,75	0,20	12	274	5,5	0,25	0,75
300	287,5	64918	6,25	0,25	300,5	289	5,75	0,20	12	294	5,5	0,25	0,75
320	307,5	74264	6,25	0,25	320,5	309	5,75	0,20	12	314	5,5	0,25	0,75
350	337,5	89462	6,25	0,25	350,5	339	5,75	0,20	12	344	5,5	0,25	0,75
380	367,5	106070	6,25	0,25	380,5	369	5,75	0,20	12	374	5,5	0,25	0,75
400	387,5	117930	6,25	0,25	400,5	389	5,75	0,20	12	394	5,5	0,25	0,75
420	401	126290	9,5	0,50	421	404	8,5	0,40	18	411	8	0,5	1,5
450	431	145900	9,5	0,50	451	434	8,5	0,40	18	441	8	0,5	1,5
480	461	166910	9,5	0,50	481	464	8,5	0,40	18	471	8	0,5	1,5
500	481	181710	9,5	0,50	501	484	8,5	0,40	18	491	8	0,5	1,5
520	495	192440	12,5	0,50	521	498	11,5	0,40	24	508	11	0,5	1,5
550	525	216480	12,5	0,50	551	528	11,5	0,40	24	538	11	0,5	1,5
580	555	241920	12,5	0,50	581	558	11,5	0,40	24	568	11	0,5	1,5
600	575	259670	12,5	0,50	601	578	11,5	0,40	24	588	11	0,5	1,5
620	595	278050	12,5	0,50	621	598	11,5	0,40	24	608	11	0,5	1,5

(1) El valor r_1 se ha de considerar como máximo. El valor mínimo es cero, o sea que puede no haber redondeado.

Los diámetros de tornillos indicados entre paréntesis se han de emplear sólo excepcionalmente y en caso de necesidad.

La rosca trapecial puede ser de entrada sencilla o múltiple (dos, tres o más filetes) y el sentido de la espiral puede ser a la derecha o a la izquierda.

UNIM	ROSCA TRAPECIAL BASTA - TpG	126 10 abril 1928



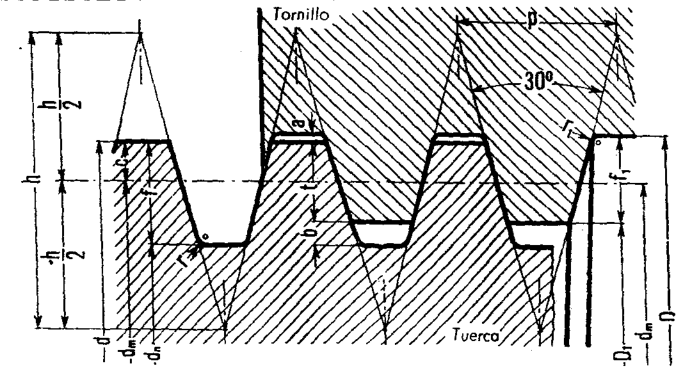
$h = 1{,}866\ p$

$f = 0{,}5\ p + a$

$f_1 = 0{,}5\ p + 2\ a - b$

$t = 0{,}5\ p + a - b$

$c = 0{,}25\ p$



Ejemplo de designación de una rosca trapecial basta, que tiene d=80 mm, una entrada, rosca derecha:
Ø 80 TpG.

En los casos de varias entradas o de rosca izquierda, se añadirá la indicación correspondiente. Ejemplo:
Ø 80 TpG. 2 ent. izq.

TORNILLO					TUERCA							JUEGO	
d mm.	d_n mm.	Sección del núcleo mm²	f mm.	r mm.	D mm.	D_1 mm.	f_1 mm.	r_1 (1) mm.	p mm.	d_m mm.	t mm.	a mm.	b mm.
(22)	13,5	143	4,25	0,25	22,5	15	3,75	0,20	8	18	3,5	0,25	0,75
25	16,5	214	4,25	0,25	25,5	18	3,75	0,20	8	21	3,5	0,25	0,75
(28)	19,5	299	4,25	0,25	28,5	21	3,75	0,20	8	24	3,5	0,25	0,75
30	19,5	299	5,25	0,25	30,5	21	4,75	0,20	10	25	4,5	0,25	0,75
(32)	21,5	363	5,25	0,25	32,5	23	4,75	0,20	10	27	4,5	0,25	0,75
35	24,5	471	5,25	0,25	35,5	26	4,75	0,20	10	30	4,5	0,25	0,75
(38)	27,5	594	5,25	0,25	38,5	29	4,75	0,20	10	33	4,5	0,25	0,75
40	27,5	594	6,25	0,25	40,5	29	5,75	0,20	12	34	5,5	0,25	0,75
(42)	29,5	663	6,25	0,25	42,5	31	5,75	0,20	12	36	5,5	0,25	0,75
45	32,5	830	6,25	0,25	45,5	34	5,75	0,20	12	39	5,5	0,25	0,75
(48)	35,5	990	6,25	0,25	48,5	37	5.75	0,20	12	42	5,5	0,25	0,75
50	37,5	1104	6,25	0,25	50,5	39	5,75	0,20	12	44	5,5	0,25	0,75
(55)	40	1257	7,5	0,5	56	43	6,5	0,40	14	48	6	0,5	1,5
60	45	1590	7,5	0,5	61	48	6,5	0,40	14	53	6	0,5	1,5
(65)	48	1810	8,5	0,5	66	51	7,5	0,40	16	57	7	0,5	1,5
70	53	2206	8,5	0,5	71	56	7,5	0,40	16	62	7	0,5	1,5
(75)	58	2642	8,5	0,5	76	61	7,5	0,40	16	67	7	0,5	1,5
80	63	3117	8,5	0,5	81	66	7,5	0,40	16	72	7	0,5	1,5
(85)	66	3421	9,5	0,5	86	69	8,5	0,40	18	76	8	0,5	1,5
90	71	3959	9,5	0,5	91	74	8,5	0,40	18	81	8	0,5	1,5
(95)	76	4536	9,5	0,5	96	79	8,5	0,40	18	86	8	0,5	1,5
100	79	4902	10,5	0,5	101	82	9,5	0,40	20	90	9	0,5	1,5
(110)	89	6221	10,5	0,5	111	92	9,5	0,40	20	100	9	0,5	1,5
120	97	7390	11,5	0,5	121	100	10,5	0,40	22	109	10	0,5	1,5
(130)	107	8992	11,5	0,5	131	110	10,5	0,40	22	119	10	0,5	1,5
140	115	10387	12,5	0,5	141	118	11,5	0,40	24	128	11	0,5	1,5
(150)	125	12272	12,5	0,5	151	128	11 5	0,40	24	138	11	0,5	1,5
160	131	13478	14,5	0,5	161	134	13,5	0,40	28	146	13	0,5	1,5
(170)	141	15615	14,5	0,5	171	144	13,5	0,40	28	156	13	0,5	1,5
180	151	17908	14,5	0,5	181	154	13,5	0,40	28	166	13	0,5	1,5
(190)	157	19359	16,5	0,5	191	160	15,5	0,40	32	174	15	0,5	1,5
200	167	21905	16,5	0,5	201	170	15,5	0,40	32	184	15	0,5	1,5
220	181	25730	18,5	0,5	221	184	17,5	0,40	36	202	17	0,5	1,5
250	209	34307	20,5	0,5	251	212	19,5	0,40	40	230	19	0,5	1,5
280	239	44863	20,5	0,5	281	242	19,5	0,40	40	260	19	0,5	1,5
300	255	51071	22,5	0,5	301	258	21,5	0,40	44	278	21	0,5	1,5
320	275	59396	22,5	0,5	321	278	21,5	0,40	44	298	21	0,5	1,5
350	305	73062	22,5	0,5	351	308	21,5	0,40	44	328	21	0,5	1,5
380	331	86049	24,5	0,5	381	334	23,5	0,40	48	358	23	0,5	1,5
400	351	96762	24,5	0,5	401	354	23,5	0,40	48	378	23	0,5	1,5

(1) El valor r_1 se ha de considerar como máximo. El valor mínimo es cero, o sea que puede no haber sido redondeado.

Los diámetros de tornillos indicados entre paréntesis se han de emplear sólo excepcionalmente y en caso de necesidad.

La rosca trapecial puede ser de entrada sencilla o múltiple (dos, tres o más filetes) y el sentido de la espiral puede ser a la derecha o a la izquierda.

La rosca trapecial basta sólo es apropiada para tornillos de maniobra sometidos a rápido desgaste.

Tabla 56

UNIM	ROSCA EN DIENTE DE SIERRA NORMAL - SgN	127 10 abril 1928

$h = 1{,}73205\ p$

$f = f_1 + b$

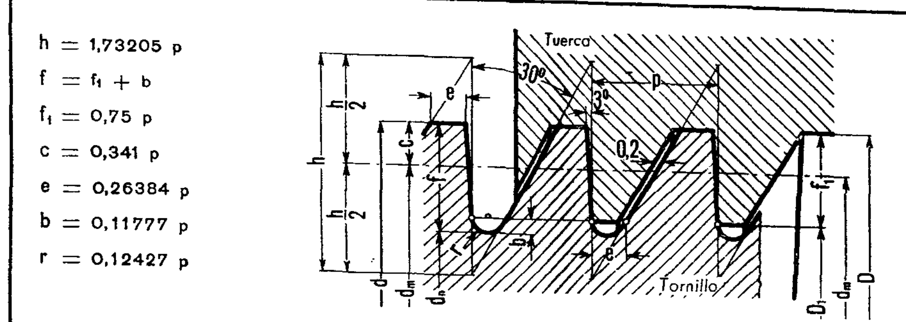
$f_1 = 0{,}75\ p$

$c = 0{,}341\ p$

$e = 0{,}26384\ p$

$b = 0{,}11777\ p$

$r = 0{,}12427\ p$



Ejemplo de designación de una rosca en diente de sierra normal, que tiene d = 80 mm, una entrada, y rosca derecha:
Ø 80 SgN.

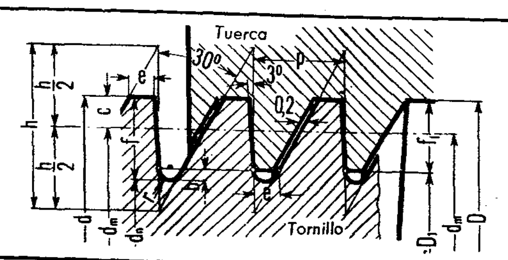
En los casos de varias entradas o de rosca izquierda, se añadirán las indicaciones correspondientes. Ejemplo:
Ø 80 SgN. 2 ent. izq.

TORNILLO						TUERCA					
d mm.	d_n mm.	Sección del núcleo mm^2	f mm.	e mm.	r mm.	D mm.	D_1 mm.	f_1 mm.	p mm.	d_m mm.	b mm.
(22)	13,322	139	4,339	1,319	0,621	22	14,5	3,75	5	18,590	0,589
25	16,322	209	4,339	1,319	0,621	25	17,5	3,75	5	21,590	0,589
(28)	19,322	293	4,339	1,319	0,621	28	20,5	3,75	5	24,590	0,589
30	19,586	301	5,207	1,583	0,746	30	21	4,5	6	25,909	0,707
(32)	21,586	370	5,207	1,583	0,746	32	23	4,5	6	27,909	0,707
35	24,586	475	5,207	1,583	0,746	35	26	4,5	6	30,909	0,707
(38)	25,852	525	6,074	1,847	0,870	38	27,5	5,25	7	33,227	0,824
40	27,852	609	6,074	1,847	0,870	40	29,5	5,25	7	35,227	0,824
(42)	29,852	700	6,074	1,847	0,870	42	31,5	5,25	7	37,227	0,824
45	31,116	760	6,942	2,111	0,994	45	33	6	8	39,545	0,942
(48)	34,116	914	6,942	2,111	0,994	48	36	6	8	42,545	0,942
50	36,116	1024	6,942	2,111	0,994	50	38	6	8	44,545	0,942
(55)	39,380	1218	7,810	2,375	1,118	55	41,5	6,75	9	48,863	1,060
60	44,380	1547	7,810	2,375	1,118	60	46,5	6,75	9	53,863	1,060
(65)	47,644	1709	8,678	2,638	1,243	65	50	7,5	10	58,181	1,178
70	52,644	2177	8,678	2,638	1,243	70	55	7,5	10	63,181	1,178
(75)	57,644	2610	8,678	2,638	1,243	75	60	7,5	10	68,181	1,178
80	62,644	3082	8,678	2,638	1,243	80	65	7,5	10	73,181	1,178
(85)	64,174	3235	10,413	3,166	1,491	85	67	9	12	76,817	1,413
90	69,174	3758	10,413	3,166	1,491	90	72	9	12	81,817	1,413
(95)	74,174	4321	10,413	3,166	1,491	95	77	9	12	86,817	1,413
100	79,174	4923	10,413	3,166	1,491	100	82	9	12	91,817	1,413
(110)	89,174	6246	10,413	3,166	1,491	110	92	9	12	101,817	1,413
120	95,702	7193	12,149	3,694	1,740	120	99	10,5	14	110,453	1,649
(130)	105,702	8775	12,149	3,694	1,740	130	109	10,5	14	120,453	1,649
140	115,702	10514	12,149	3,694	1,740	140	119	10,5	14	130,453	1,649
(150)	122,232	11734	13,884	4,221	1,988	150	126	12	16	139,089	1,884
160	132,232	13733	13,884	4,221	1,988	160	136	12	16	149,089	1,884
(170)	142,232	15889	13,884	4,221	1,988	170	146	12	16	159,089	1,884
180	148,760	17381	15,620	4,749	2,237	180	153	13,5	18	167,726	2,120
(190)	158,760	19796	15,620	4,749	2,237	190	163	13,5	18	177,726	2,120
200	168,760	22368	15,620	4,749	2,237	200	173	13,5	18	167,726	2,120
220	185,290	26965	17,355	5,277	2,485	220	190	15	20	206,362	2,355
250	211,818	35238	19,091	5,804	2,734	250	217	16,5	22	234,998	2,591
280	238,348	44618	20,826	6,332	2,982	280	244	18	24	263,634	2,826
300	254,876	51021	22,562	6,860	3,231	300	261	19,5	26	282,270	3,062

Tolerancias: para el diámetro **d: UNIM mA = mSC.** Para el diámetro **D: UNIM mF = mSC.**
Los diámetros de tornillo indicados entre paréntesis se emplearán sólo como excepción y en casos de necesidad.
La rosca en diente de sierra puede ser de una entrada o bien de varias entradas (dos, tres o más entradas) y en sentido de la rosca puede ser derecha o izquierda.

UNIM	ROSCA EN DIENTE DE SIERRA FINA - SgF	128 10 abril 1928

$h = 1{,}73205\ p$
$f = f_1 + b$
$f_1 = 0{,}75\ p$
$c = 0{,}341\ p$
$e = 0{,}26384\ p$
$b = 0{,}11777\ p$
$r = 0{,}12427\ p$

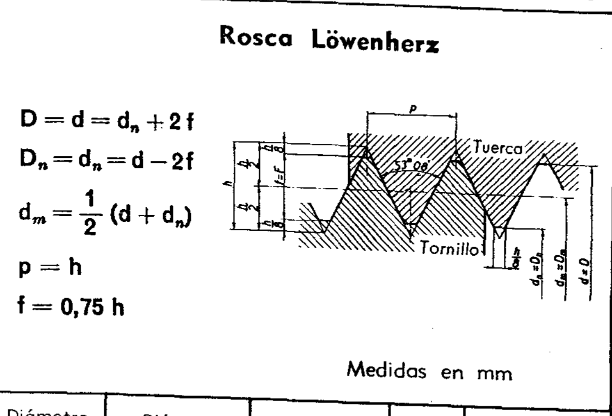


Ejemplo de designación de una rosca en diente de sierra fina, que tiene d = 80 mm, una entrada y rosca derecha:
Ø 80 SgF.
En los casos de varias entradas o de rosca izquierda, se añadirán las indicaciones correspondientes. Ejemplo:
Ø 80 SgF. 2 ent. izq.

TORNILLO						TUERCA					
d mm.	d_n mm.	Sección del núcleo mm²	f mm.	e mm.	r mm.	D mm.	D_1 mm.	f_1 mm.	p mm.	d_m mm.	b mm.
10	6,528	33,5	1,736	0,528	0,249	10	7	1,5	2	8,636	0,236
12	8,528	57,1	1,736	0,528	0,249	12	9	1,5	2	10,636	0,236
14	10,528	87,1	1,736	0,528	0,249	14	11	1,5	2	12,636	0,236
16	12,528	123	1,736	0,528	0,249	16	13	1,5	2	14,636	0,236
18	14,528	166	1,736	0,528	0,249	18	15	1,5	2	16,636	0,236
20	16,528	215	1,736	0,528	0,249	20	17	1,5	2	18,636	0,236
(22)	16,794	222	2,603	0,792	0,373	22	17,5	2,25	3	19,954	0,353
25	19,794	308	2,603	0,792	0,373	25	20,5	2,25	3	22,954	0,353
(28)	22,794	408	2,603	0,792	0,373	28	23,5	2,25	3	25,954	0,353
30	24,794	483	2,603	0,792	0,373	30	25,5	2,25	3	27,954	0,353
(32)	26,794	564	2,603	0,792	0,373	32	27,5	2,25	3	29,954	0,353
35	29,794	697	2,603	0,792	0,373	35	30,5	2,25	3	32,954	0,353
(38)	32,794	845	2,603	0,792	0,373	38	33,5	2,25	3	35,954	0,353
40	34,794	951	2,603	0,792	0,373	40	35,5	2,25	3	37,954	0,353
(42)	36,794	1063	2,603	0,792	0,373	42	37,5	2,25	3	39,954	0,353
45	39,794	1244	2,603	0,792	0,373	45	40,5	2,25	3	42,954	0,353
(48)	42,794	1438	2,603	0,792	0,373	48	43,5	2,25	3	45,954	0,353
50	44,794	1576	2,603	0,792	0,373	50	45,5	2,25	3	47,954	0,353
(55)	49,794	1947	2,603	0,792	0,373	55	50,5	2,25	3	52,954	0,353
60	54,794	2358	2,603	0,792	0,373	60	55,5	2,25	3	57,954	0,353
(65)	58,058	2647	3,471	1,055	0,497	65	59	3	4	62,272	0,471
70	63,058	3123	3,471	1,055	0,497	70	64	3	4	67,272	0,471
(75)	68,058	3638	3,471	1,055	0,497	75	69	3	4	72,272	0,471
80	73,058	4192	3,471	1,055	0,497	80	74	3	4	77,272	0,471
(85)	78,058	4785	3,471	1,055	0,497	85	79	3	4	82,272	0,471
90	83,058	5418	3,471	1,055	0,497	90	84	3	4	87,272	0,471
(95)	88,058	6090	3,471	1,055	0,497	95	89	3	4	92,272	0,471
100	93,058	6801	3,471	1,055	0,497	100	94	3	4	97,272	0,471
(110)	103,058	8342	3,471	1,055	0,497	110	104	3	4	107,272	0,471
120	109,586	9432	5,207	1,583	0,746	120	111	4,5	6	115,909	0,707
(130)	119,586	11232	5,207	1,583	0,746	130	121	4,5	6	125,909	0,707
140	129,586	13189	5,207	1,583	0,746	140	131	4,5	6	135,909	0,707
(150)	139,586	15303	5,207	1,583	0,746	150	141	4,5	6	145,909	0,707
160	149,586	17574	5,207	1,583	0,746	160	151	4,5	6	155,909	0,707
(170)	159,586	20002	5,207	1,583	0,746	170	161	4,5	6	165,909	0,707
180	166,116	21673	6,942	2,111	0,994	180	168	6	8	174,545	0,942
(190)	176,116	24361	6,942	2,111	0,994	190	178	6	8	184,545	0,942
200	186,116	27206	6,942	2,111	0,994	200	188	6	8	194,545	0,942
220	206,116	33367	6,942	2,111	0,994	220	208	6	8	214,545	0,942
250	229,174	41250	10,413	3,166	1,491	250	232	9	12	241,817	1,413
280	259,174	52756	10,413	3,166	1,491	280	262	9	12	271,817	1,413
300	279,174	61213	10,413	3,166	1,491	300	282	9	12	291,817	1,413
320	299,174	70297	10,413	3,166	1,491	320	302	9	12	311,817	1,413
350	329,174	85102	10,413	3,166	1,491	350	332	9	12	341,817	1,413
380	359,174	101320	10,413	3,166	1,491	380	362	9	12	371,817	1,413
400	379,174	112920	10,413	3,166	1,491	400	382	9	12	391,817	1,413
420	388,760	118700	15,620	4,749	2,237	420	393	13,5	18	407,726	2,120
450	418,760	137730	15,620	4,749	2,237	450	423	13,5	18	437,726	2,120
480	448,760	158170	15,620	4,749	2,237	480	453	13,5	18	467,726	2,120
500	468,760	172580	15,620	4,749	2,237	500	473	13,5	18	487,726	2,120
520	478,348	179710	20,826	6,332	2,982	520	484	18	24	503,634	2,826
550	508,348	202960	20,826	6,332	2,982	550	514	18	24	533,634	2,826
580	538,348	227620	20,826	6,332	2,982	580	544	18	24	563,634	2,826
600	558,348	244850	20,826	6,332	2,982	600	564	18	24	583,634	2,826
620	578,348	262710	20,826	6,332	2,982	620	584	18	24	603,634	2,826

Tolerancias: para el diámetro **d: UNIM mA = mSC.** Para el diámetro **D: UNIM mF** = mSC.
Los diámetros de tornillo indicados entre paréntesis se emplearán sólo como excepción y en casos de necesidad.
La rosca en diente de sierra puede ser de una entrada o bien de varias entradas (dos, tres o más entradas) y el sentido de la rosca puede ser derecha o izquierda.

Tabla 58



Diámetro exterior de tornillo y de tuerca d = D	Diámetro medio de tornillo y de tuerca $d_m = D_m$	Diámetro de núcleo de tornillo y de tuerca $d_n = D_n$	Paso p	Profundidad de rosca f = F
1	0,812	0,625	0,25	0,187
1,2	1,012	0,825	0,25	0,187
1,4	1,175	0,95	0,3	0,225
1,7	1,437	1,175	0,35	0,262
2	1,700	1,4	0,4	0,300
2,3	2,000	1,7	0,4	0,300
2,6	2,262	1,925	0,45	0,337
3	2,625	2,25	0,5	0,375
3,5	3,050	2,6	0,6	0,450
4	3,475	2,95	0,7	0,525
4,5	3,937	3,375	0,75	0,562
5	4,400	3,8	0,8	0,600
5,5	4,825	4,15	0,9	0,675
6	5,250	4,5	1	0,750
7	6,175	5,35	1,1	0,825
8	7,100	6,2	1,2	0,900
9	8,025	7,05	1,3	0,975
10	8,950	7,9	1,4	1,050

Una categoría importantísima de tornillos, que se puede considerar intermedia entre los tornillos y los pernos, es la de los *espárragos*. El tornillo, en este caso, está alojado en un agujero ciego y naturalmente desprovisto de cabeza; su extremo libre está roscado; entre las dos roscas ha de haber una parte del vástago sin roscar, para poder atornillar el espárrago en su asiento.

A veces sirven los espárragos, además de piezas de unión, simplemente como guía para dos piezas que se han de superponer en determinada posición. Esta aplicación, que exige naturalmente espárragos con el extremo libre sin roscar, en pocos casos es aconsejable; no se pueden emplear en modo alguno cuando la unión de las dos partes tenga carácter de precisión, por no poder cumplir un espárrago la función del pasador de referencia de que luego se tratará.

Hemos de hacer notar, además, en estas consideraciones generales, la diferencia entre tornillos bastos y mecanizados. Los primeros se obtienen de la barra mediante laminación por rodadura. El acabado que se puede obtener con este procedimiento, tanto para la superficie como para la rosca, es siempre algo deficiente. En cambio, los tornillos mecanizados se obtienen de la barra mediante máquinas herramientas especiales, generalmente automáticas, para la producción en serie; o también en el torno, cuando se piden pocos ejemplares, o se trata de tornillos de grandes dimensiones o de mucha importancia.

Expuestas estas breves consideraciones, pasemos a la representación de las roscas en los dibujos.

Tabla 59

Rosca B.A.
(British Association Screw Threads)

$h = 1{,}1364\ p$

$f = 0{,}6\ p$

$r = \frac{2}{11}\ p$

$d_m = d_n + f$

Medidas en mm

N.°	Diámetro exterior de tornillo y de tuerca d = D	Diámetro medio de tornillo y de tuerca $d_m = D_m$	Diámetro de núcleo del tornillo y tuerca $d_n = D_n$	Paso p	Profundidad de rosca f = F
0	6	5,4	4,8	1	0,6
1	5,3	4,76	4,22	0,9	0,54
2	4,7	4,214	3,728	0,81	0,486
3	4,1	3,662	3,224	0,73	0,438
4	3,6	3,204	2,808	0,66	0,396
5	3,2	2,842	2,492	0,59	0,350
6	2,8	2,482	2,164	0,53	0,318
7	2,5	2,212	1,924	0,48	0,288
8	2,2	1,942	1,684	0,43	0,258
9	1,9	1,666	1,432	0,39	0,234
10	1,7	1,490	1,28	0,35	0,210
11	1,5	1,314	1,128	0,31	0,186
12	1,3	1,132	0,964	0,28	0,168
13	1,2	1,050	0,9	0,25	0,150
14	1	0,862	0,724	0,23	0,138
15	0,9	0,774	0,648	0,21	0,126
16	0,79	0,676	0,562	0,19	0,114
17	0,7	0,598	0,496	0,17	0,102
18	0,62	0,530	0,44	0,15	0,090
19	0,54	0,456	0,372	0,14	0,084
20	0,48	0,408	0,336	0,12	0,072
21	0,42	0,354	0,288	0,11	0,066
22	0,37	0,311	0,252	0,098	0,059
23	0,33	0,282	0,223	0,089	0,054
24	0,29	0,242	0,194	0,08	0,048
25	0,25	0,207	0,164	0,072	0,043

ROSCA SELLERS

$$D = d + \frac{f}{g}$$

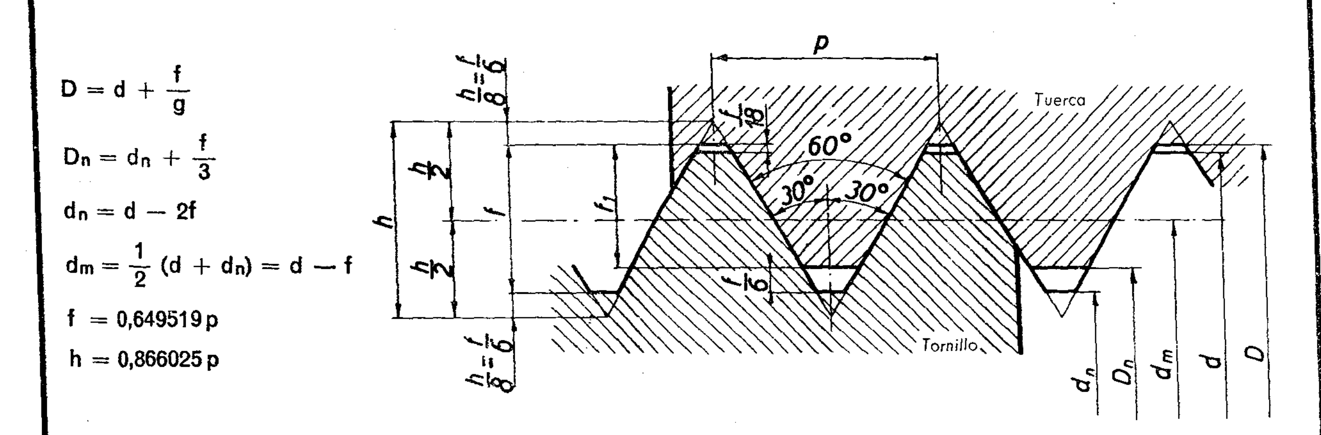
$$D_n = d_n + \frac{f}{3}$$

$$d_n = d - 2f$$

$$d_m = \frac{1}{2}(d + d_n) = d - f$$

$$f = 0{,}649519\,p$$

$$h = 0{,}866025\,p$$



Medidas en mm

Indicaciones	PASO NORMAL						PASO FINO					
	d	d_n	d_m	Hilos por 1''	p	f	d	d_n	d_m	Hilos por 1''	p	f
N. 0	—	—	—	—	—	—	1,524	1,112	1,318	80	0,318	0,206
» 1	1,854	1,338	1,596	64	0,397	0,258	1,854	1,395	1,625	72	0,353	0,229
» 2	2,814	1,594	1,889	56	0,454	0,295	2,184	1,668	1,926	64	0,397	0,258
» 3	2,515	1,827	2,171	48	0,529	0,334	2,515	1,925	2,220	56	0,454	0,295
» 4	2,845	2,021	2,433	40	0,635	0,412	2,845	2,157	2,501	48	0,529	0,344
» 5	3,175	2,351	2,763	40	0,635	0,412	3,175	2,425	2,800	44	0,577	0,375
» 6	3,505	2,475	2,989	32	0,794	0,516	3,505	2,681	3,093	40	0,635	0,412
» 8	4,166	3,134	3,650	32	0,794	0,516	4,166	3,250	3,708	36	0,706	0,458
» 10	4,826	3,450	4,138	24	1,058	0,688	4,826	3,794	4,310	32	0,794	0,516
» 12	5,486	4,110	4,798	24	1,058	0,688	5,486	4,308	4,897	28	0,907	0,589
1''/4	6,350	4,700	5,525	20	1,270	0,825	6,350	5,171	5,762	28	0,907	0,589
5''/16	7,938	6,104	7,021	18	1,411	0,917	7,938	6,562	7,250	24	1,058	0,688
3''/8	9,525	7,463	7,494	16	1,588	1,031	9,525	8,150	8,837	24	1,058	0,688
7''/16	11,113	8,755	9,934	14	1,814	1,179	11,113	9,463	10,288	20	1,270	0,825
1''/2	12,700	10,162	11,431	13	1,954	1,269	12,700	11,050	11,875	20	1,270	0,825
9''/16	14,288	11,538	12,913	12	2,117	1,375	14,288	12,454	13,371	18	1,411	0,917
5''/8	15,875	12,875	14,375	11	2,309	1,500	15,875	15,041	14,958	18	1,411	0,917
3''/4	19,050	15,750	17,400	10	2,540	1,650	19,050	16,988	18,019	16	1,588	1,031
7''/8	22,225	18,559	20,392	9	2,822	1,883	22,225	19,867	21,046	14	1,814	1,179
1''	25,400	21,276	23,338	8	3,175	2,062	25,400	23,042	24,221	14	1,814	1,179

Tabla 61

Ejemplos de designación de roscas				
Tipo de rosca y tabla de unificación	Símbolo	Medida del diámetro	Ejemplo de designación	Significado del ejemplo
Métrica MA UNI 2706	MA	en mm	14 MA	Rosca métrica, serie MA, diámetro 14 mm, derecha, una entrada.
Métrica MB UNI 2707	MB	en mm	12 MB izq.	Rosca métrica, serie MB, diámetro 12 mm, izquierda, una entrada.
Métrica MC UNI 2703	MC	en mm	5 MC 2 ent.	Rosca métrica, serie MC, diámetro 5 mm, derecha, dos entradas.
Métrica MD UNI 2704	MD	en mm	8 MD 2 ent. izq.	Rosca métrica, serie MD, diámetro 8 mm, izquierda, dos entradas.
Métrica ME UNI 2705	ME	en mm	28 ME 3 ent.	Rosca métrica, serie ME, diámetro 28 mm, derecha, tres entradas.
Métrica no unificada	XM	en mm	14 × M	Rosca no unificada de 14 mm.
Whitworth UNI 2709	W	en pulgadas	2 ¾ W	Rosca Whitworth, diámetro 2" ¾ = =69,850 mm.
Gas cilíndrica UNI 338	Gas	indicación convencional	Rosca 1 ¼ Gas	Rosca gas cilíndrica, con diámetro convencional (de las tablas) 41,91 milímetros, derecha.
Gas cónica UNI 339	Gas cónica	indicación convencional	2 ½ Gas cónica	Rosca gas cónica, con diámetro de 75,18 mm, a la distancia (para el tornillo) de 23 mm del extremo cónico menor.
Trapecial normal UNIM 124	Tp N	en mm	60 Tp N	Rosca trapecial normal, diámetro 60 milímetros, una entrada, derecha.
Trapecial fina UNIM 124 UNIM 125	Tp F	en mm	60 Tp F 2 ent. izq.	Rosca trapecial fina, diámetro 60 milímetros, dos entradas, izquierda.
Trapecial basta UNIM 126	Tp G	en mm	120 Tp G izq.	Rosca trapecial basta, diámetro 120 milímetros, una entrada, izquierda.
En diente de sierra normal UNIM 127	Sg N	en mm	Ø 70 Sg N	Rosca en diente de sierra normal, diámetro 70 mm, una entrada, derecha.
En diente de sierra fina UNIM 128	Sg F	en mm	Ø 40 Sg F 2 ent.	Rosca en diente de sierra fina, diámetro 40 mm, 2 entradas, derecha.

59. Normas para la representación de las roscas en los dibujos técnicos mecánicos

Cualquiera que sea el sistema y el perfil de una rosca, se indica ésta en los dibujos de un modo único según normas.

En la tabla **UNI 3978** se han publicado las nuevas normas que concuerdan con las internacionales; algunas de ellas se diferencian completamente de las normas anteriormente en vigor.

Estas normas se transcriben como leyendas de las correspondientes figuras II, 288-293.

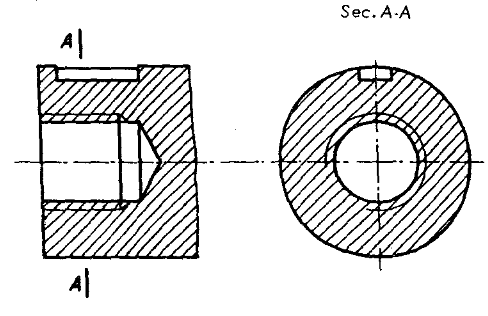


Fig. II, 291. *En una tuerca en sección, la rosca se representa como indica la figura. En la unificación anterior el rayado no debía atravesar la línea que indica el fondo de la rosca.*

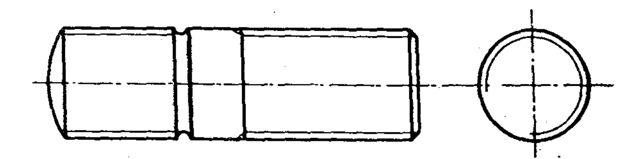


Fig. II, 288. *En las representaciones en vista, el vértice del filete se ha de señalar con línea continua gruesa (tipo A* UNI 3968) *y el fondo del mismo con línea finu (tipo B* UNI 3968); *como indica la figura. La circunferencia que indica el vértice del filete se ha de trazar con línea continua gruesa; la que indica el fondo de la rosca con línea continua fina. El límite de la longitud útil de la rosca se indica en vista con línea continua gruesa.*

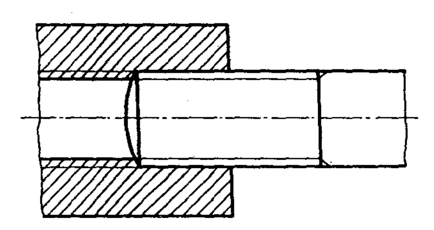


Fig. II, 292. *En la representación de una unión en sección, se siguen las reglas de las secciones de sólidos de forma alargada; por lo tanto, en el caso representado en la figura, el tornillo no se corta, porque es macizo. El tornillo tiene preferencia siempre sobre la tuerca.*

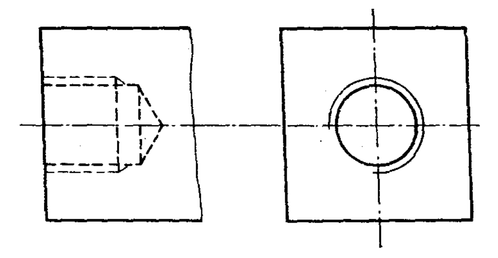


Fig. II, 289. *En las roscas ocultas el vértice y el fondo del filete se representan como indica la figura. La línea que se ha de usar es el tipo D* UNI 3968. *El límite de la longitud útil de la rosca oculta se indica con línea de trazos.*

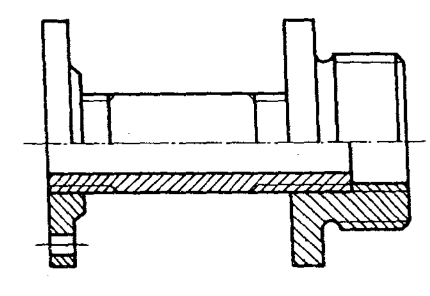


Fig II, 293. *En este caso, a diferencia del anterior, el tornillo está taladrado en sentido longitudinal; por lo mismo está cortado regularmente. El tornillo siempre tiene preferencia sobre la tuerca.*

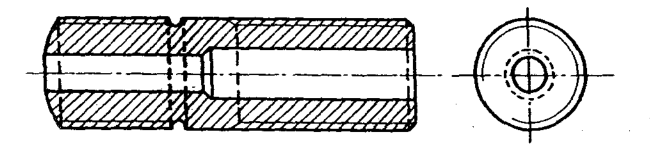


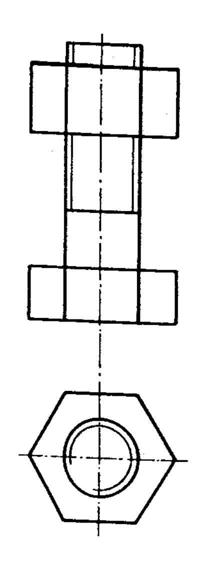
Fig. II, 290. *En la sección de un tornillo, la rosca se representa como en vista; el rayado que indica la superficie de sección acaba en la línea que indica el vértice del filete. Aquí también se indica con línea de trazos medios el límite de la longitud útil de rosca.*

Los pernos se representan preferentemente de modo esquemático (fig. II, 294); en los dibujos de conjunto, los tornillos y los pernos se pueden también indicar sencillamente por medio de sus ejes.

Las tuercas hexagonales se pueden indicar de un modo no esquemático (fig. II, 295). La medida α está indicada en las normas para tuercas.

Los tornillos o tuercas de pequeñas dimensiones o dibujados a escala reducida se han de representar esquemáticamente, como indica la figura II, 296. Si los tornillos tienen la cabeza con ranura, ésta se representa en planta inclinada a 45°, para que no se confunda con los ejes.

Fig. II, 294. *Representación esquemática de un perno.*



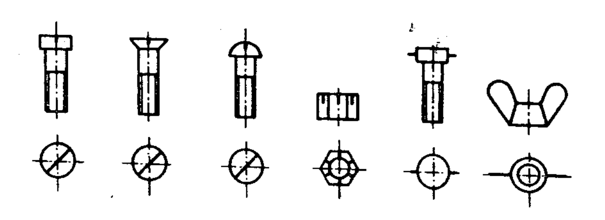


Fig. II, 296. *Representación esquemática unificada de tornillos de pequeñas dimensiones.*

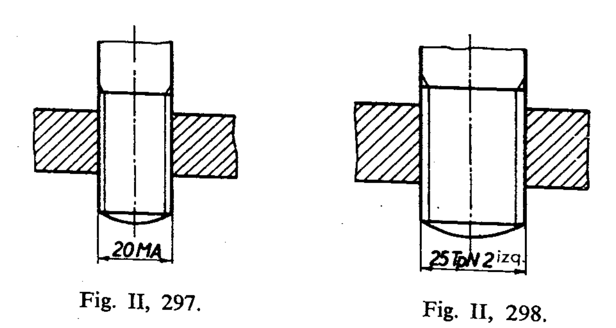
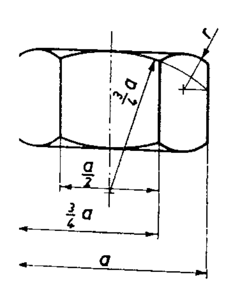
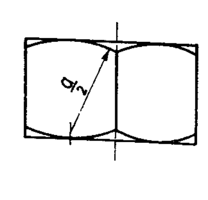


Fig. II, 297.

Fig. II, 298.

Figs. II, 297-298. *Representación unificada de uniones roscadas.*





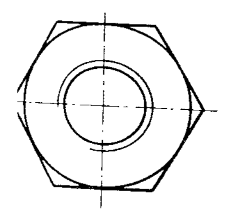
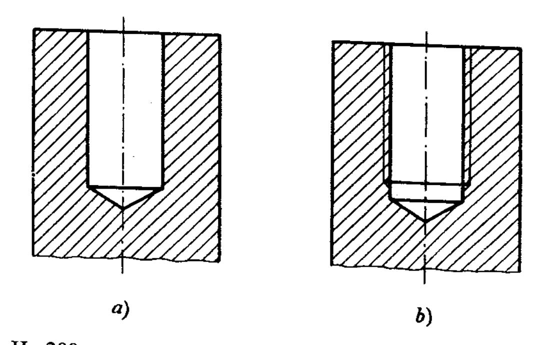
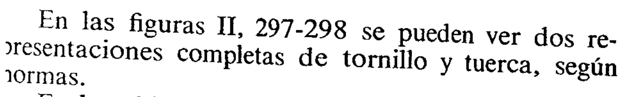


Fig. II, 295. *Representación de una tuerca hexagonal (no esquemática): la medida* a *está indicada en la correspondiente tabla de unificación.*



a) *b)*

Fig. II, 299. *Representación de agujeros ciegos:* a) *agujero solamente;* b) *agujero roscado.*



En las figuras II, 297-298 se pueden ver dos re-›resentaciones completas de tornillo y tuerca, según ıormas.

En la tabla **UNI 161** se representan los tipos uni-ıcados de tornillos métricos mecanizados, de cabeza ıexagonal y circular. En las tablas **UNI 234** y **235** ;e representan los tipos unificados de tornillos mé-:ricos mecanizados con cabeza ranurada, cilíndrica, 'edonda o avellanada.

Finalmente, en la tabla **UNI 868-869** se presenta ın cuadro de pernos bastos unificados. En la tabla UNI **109** se presenta un cuadro de los espárragos uni-ıcados. Todo lo que principalmente puede interesar le las tablas citadas se ha reunido en las tablas 62 y ›3, en las que, con el fin de dar una visión de conjunto nás completa, se han añadido además los tipos de ornillos unificados, publicados por el UNI después de editar los cuadros que se han enumerado anteriormente.

Los espárragos se atornillan en agujeros roscados. Es necesario que estos agujeros, cuando se representen en sección, se dibujen con toda exactitud, teniendo presente que se ejecutan con dos operaciones sucesivas, que son un taladrado, seguido de roscado con macho. Por esto, el fondo del agujero ha de tener una conicidad de 120°, como la punta de la broca; y la rosca no se puede efectuar, por evidentes razones técnicas, en toda la profundidad del agujero, no pudiendo llegar al fondo (fig. II, 299). Tanto la profundidad del agujero como la longitud de su parte roscada han de ser mayores que la longitud del vástago del espárrago (llamada *raíz*) que ha de quedar alojada, de manera que la rosca pueda quedar bien apretada al atornillar el espárrago.

Cuadro de algunos tipos de tornillos unificados

Tabla 62

Tipo de tornillo	Tornillos mecanizados: vástago totalmente roscado	Tornillos mecanizados: vástago parcialmente roscado	Tornillos laminados: vástago totalmente roscado	Tornillos laminados: vástago parcialmente roscado
Tornillos de cabeza cilíndrica	Rosca MA UNI 236 Rosca MB UNI 237	Rosca MA UNI 238 Rosca MB UNI 239	Rosca MA UNI 240	Rosca MA UNI 241
Tornillos de cabeza cilíndrica alomada	Rosca MA UNI 242 Rosca MB UNI 243	Rosca MA UNI 244 Rosca MB UNI 245		
Tornillos de cabeza cilíndrica con agujeros cruzados	Rosca MA UNI 246	Rosca MA UNI 247		
Tornillos de cabeza cilíndrica ancha, alomada	Rosca MA UNI 248	Rosca MA UNI 249	Rosca MA UNI 250	Rosca MA UNI 251
Tornillos de cabeza redonda	Rosca MA UNI 252	Rosca MA UNI 253	Rosca MA UNI 254	Rosca MA UNI 255
Tornillos de cabeza avellanada a 90°	Rosca MA UNI 256 Rosca MB UNI 257	Rosca MA UNI 258 Rosca MB UNI 259	Rosca MA UNI 260	Rosca MA UNI 261
Tornillos de cabeza avellanada a 90° reducida	Rosca MA UNI 262	Rosca MA UNI 263	Rosca MA UNI 264	Rosca MA UNI 265
Tornillos de cabeza avellanada a 60°	Rosca MA UNI 266	Rosca MA UNI 267	Rosca MA UNI 268	Rosca MA UNI 269
Tornillos de cabeza avellanada a 60°, gota de sebo	Rosca MA UNI 270 Rosca MB UNI 271	Rosca MA UNI 272 Rosca MB UNI 273	Rosca MA UNI 274	Rosca MA UNI 275
Tornillos de cabeza avellanada a 90° reducida	Rosca MA UNI 276	Rosca MA UNI 277	Rosca MA UNI 278	Rosca MA UNI 279
Tornillos de cabeza avellanada a 60°, gota de sebo	Rosca MA UNI 280	Rosca MA UNI 281	Rosca MA UNI 282	Rosca MA UNI 283

Tabla 63

Tabla indicadora de algunos tipos de tornillos unificados

Denominación	Figura esquemática	Tabla UNI	Denominación	Figura esquemática	Tabla UNI
Tornillos con cabeza hexagonal muy pequeña		2378	Tornillos sin cabeza, con extremo plano con chaflán y vástago parcialmente roscado		2387
Tornillos con cabeza cuadrada pequeña		2379	Ídem, con extremo en espiga		2388
Ídem, con aro		2380	Ídem, con extremo en punta		2389
Ídem, con collarín		2381	Ídem, con chaflán afilado		2390
Ídem, muy pequeña		2382	Tornillos con cabeza cilíndrica moleteada		2391
Tornillos con cabeza cilíndrica, hueca, con hexágono encajado		2383	Ídem, con collarín		2392
Tornillos sin cabeza, con hexágono encajado		2384	Tornillos con cabeza de martillo		2393
Tornillos huecos sin cabeza, con cuadrado encajado		2385	Tornillos de mariposa		2394
Tornillos sin cabeza, con ranura		2386			

Tabla 64

(De la tabla UNI 954)

Agujeros ciegos roscados para espárragos con raíces corta, media y larga

Medidas en mm

Diámetros de rosca	Agujeros para raíz corta				Agujeros para raíz media				Agujeros para raíz larga				Diámetros de rosca Whitworth pulgadas
	h_1	h_2	h_3	t	h_1	h_2	h_3	t	h_1	h_2	h_3	t	
3	4.5	5,5	4,5	3	6	7	6	4,5	9,5	10,5	9,5	8	—
4	6	7,5	6	4	8	9,5	8	6	12	13,5	12	10	—
5	7,5	9	7	5	9,5	11	9	7	14,5	16	14	12	3/16″
6	9	11	8	6	12	14	11	9	19	21	18	16	1/4″
8	11,5	14,5	10	8	15,5	18,5	14	12	23,5	26,5	22	20	5/16″
10	14	17,5	12	10	19	22,5	17	15	29	32,5	27	25	3/8″
12	17	21	14	12	23	27	20	18	35	39	32	30	1/2″
14	19	24	17	14	25	30	23	20	40	45	38	35	—
16	21	26	19	16	27	32	25	22	45	50	43	40	5/8″
18	24	30	21	18	31	37	28	25	51	57	48	45	—
20	26	32	23	20	34	40	31	28	56	62	53	50	3/4″
24	32	40	28	25	39	47	35	32	67	75	63	60	—
30	38	47	34	30	48	57	44	40	78	87	74	70	1 1/8″
36	44	54	39	35	54	64	49	45	89	99	84	80	1 3/8″
42	53	65	47	42	66	78	60	55	111	123	105	100	1 5/8″
48	60	74	53	48	74	88	67	62	122	136	115	110	1 7/8″

La longitud *h de* la raíz depende del diámetro *d* del espárrago; hay los tres casos siguientes **(UNI 954):**

raíz corta: $h = 1 \div 1{,}25\, d$; para materiales de elevada resistencia;

raíz media: $h = 1{,}25 \div 1{,}60\, d$; para materiales de resistencia media;

raíz larga: $h = 1{,}60 \div 2\, d$; para aluminio, etc.

En la tabla 64 se indican los valores de la longitud *t* de las raíces **(UNI 954),** de la profundidad *h* de la rosca (que depende del modo de ejecutar la rosca); y el espesor mínimo del fondo de los agujeros ciegos

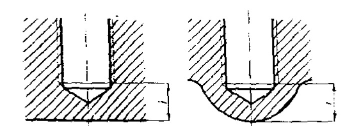


Fig. II, 300. *Es obligatorio que todas las piezas que tengan un agujero ciego, tengan un espesor mínimo en el fondo del mismo proporcionado al diámetro. En caso necesario se puede disponer un aumento de este espesor en la forma que indica la figura.*

Valores del espesor del fondo de los agujeros ciegos roscados

Diámetro de rosca	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30	33	36	39	42	45	48	52
i	4	5	6	6	7	7	8	9	10	11	12	13	14	15	17	18	20	22	24	25	27	29

se deduce de la pequeña tabla que va debajo de la figura II, 300, estando previsto además el engrosamiento eventual de la parte de la pieza correspondiente al agujero.

Los valores h_1 corresponden a agujeros que se han de roscar mediante tres pasadas sucesivas; h_2 a los que se han de roscar con una sola pasada; h_3 a los efectuados en piezas de espesor determinado.

Todas las roscas de las tuercas se efectúan en agujeros taladrados previamente en la pieza.

En la tabla 65 se indican los diámetros de los agujeros que han de ser roscados posteriormente, en relación con el tipo de rosca que se ha de realizar. Tales diámetros no están unificados.

Con frecuencia se ha de efectuar en las piezas agujeros pasantes para pernos. Los diámetros de los agujeros están unificados en la tabla **UNI 1728,** que se reproduce íntegramente por cuanto puede ser de mucho interés para el dibujante (tabla 66).

En las tablas 67 a 71, se indican los tipos unificados de extremos de tornillos **(UNI 947-948)** las ranuras unificadas de principio de rosca **(UNI 4152, 4153),** los asientos unificados para tornillos con extremos en punta **(UNI 2377)** y las salidas de rosca unificadas **(UNI 4151).**

En las tablas de la 72 a la 75 se ha hecho una selección de los tipos más importantes de los tornillos unificados considerados en los cuadros de las tablas citadas anteriormente, con indicación de los elementos unificados.

Tornillos autoterrajantes. Se usan para la unión de chapas de acero dulce; se fabrican de acero templado y pueden por sí solos roscar, al atornillarlos, el correspondiente agujero en el que se han de alojar. Estos tornillos son objeto de una unificación experimental **S 230**, que ha unificado 9 tipos, tratados posteriormente con todo detalle en las tablas **S 231** a **S 239.** Estos tipos de tornillo están reunidos en la tabla 76.

Los tipos de tornillos autoterrajantes con cabeza hexagonal se usan para diámetros hasta 9,5 mm; los otros tipos, hasta 6,2 mm.

Los tornillos de punta cónica, cuando se emplean para chapas de espesor inferior a 1,3 mm, no requieren forzosamente el taladrado previo de las chapas.

En los dibujos técnicos los tornillos autoterrajantes se representan esquemáticamente como indica la figura II, 301.

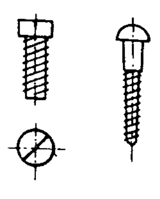
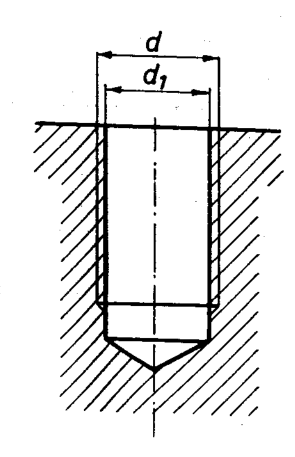


Fig. II, 301. *Ésta es la representación normalizada de los tornillos autoterrajantes.*

Tabla 65

Diámetro de la punta para agujeros ciegos que se han de roscar



Diámetro de rosca d,	Rosca métrica serie MA			Rosca métrica serie MB		
	Paso	Diámetro de la punta d,		Paso	Diámetro de la punta d,	
		Aleaciones de aluminio, cobre, etc.	Acero, hierro, fundición, bronce		Aleaciones de aluminio, cobre, etc.	Acero, hierro, fundición, bronce
3	0,50	2,4	2,4	0,35	2,6	2,6
4	0,70	3,2	3,2	0,50	3,4	3,4
5	0,80	4,2	4,1	0,50	4,4	4,4
6	1	5	4,9	0,75	5,2	5,2
7	1	6	5,9	0,75	6,2	6,2
8	1,25	6,7	6,6	1	7	6,9
9	1,25	7,7	7,6	1	8	7,9
10	1,50	8,5	8,3	1	9	8,9
12	1,75	10,2	10	1,50	10,5	10,3
14	2	12	11,7	1,50	12,5	12,3
16	2	14	13,7	1,50	14,5	14,3
18	2,50	15,5	15,1	1,50	16,5	16,3
20	2,50	17,5	17,1	1,50	18,5	18,3
22	2,50	19,5	19,1	1,50	20,5	20,3
24	3	21	20,5	2	22	21,7
27	3	24	23,5	2	25	24,7
30	3,50	26,5	26	2	28	27,7
33	3,50	29,5	29	2	31	30,7
36	4	32	31,5	3	33	32,5
39	4	35	34,5	3	36	35,5
42	4,50	37,5	37	3	39	38,5
45	4,50	40,5	40	3	42	41,5
48	5	43	42,5	3	45	44,5
52	5	47	46,5	3	49	48,5
56	5,50	50,5	50	4	52	51,5
60	5,50	54,5	54	4	56	55,5
64	6	58	57,5	4	60	59,5

Tabla 66

Agujeros pasantes para pernos *

UNI 1728

24 Oct. 1941-XIX

La presente unificación concuerda substancialmente con los resultados de los trabajos desarrollados en el seno de la Federación Internacional de los Comités de normas nacionales. ISA.

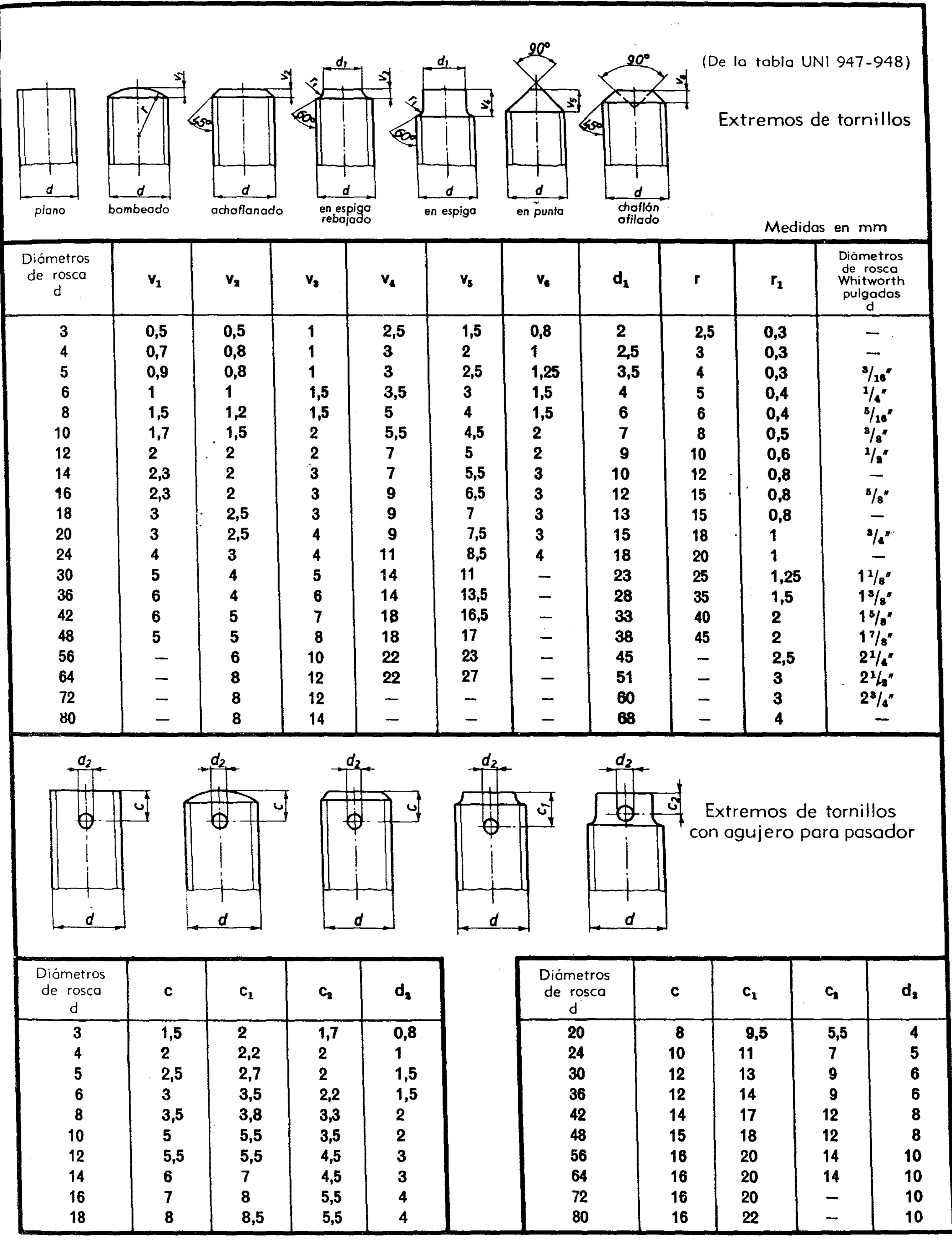
Diámetros de tornillos					Agujeros pasantes (Véase punto 1)		
Rosca métrica	Rosca Whitworth		Rosca Gas		Serie fina	Serie media	Serie basta
mm	pulg	mm	—	mm	mm	mm	mm
1	—	—	—	—	1,1	1,3	—
1,2	—	—	—	—	1,3	1,5	—
1,4	—	—	—	—	1,5	1,8	—
1,7	—	—	—	—	1,8	2,1	—
2	—	—	—	—	2,2	2,4	—
2,3	—	—	—	—	2,5	2,8	—
2,6	—	—	—	—	2,8	3,1	—
3	—	—	—	—	3,2	3,6	—
3,5	—	—	—	—	3,7	4,2	—
4	—	—	—	—	4,3	4,8	—
4,5	—	—	—	—	4,8	5,3	—
5	—	—	—	—	5,3	5,8	—
6	—	—	—	—	6,4	7	—
—	1/4	6,35	—	—	6,7	7	—
7	—	—	—	—	7,4	8	—
—	5/16	7,94	—	—	8,4	9,5	—
8	—	—	—	—	8,4	9,5	10,5
9	—	—	—	—	9,5	10,5	11,5
—	3/8	9,52	—	—	10	11,5	13
—	—	—	1/8	9,73	—	11,5	—
10	—	—	—	—	10,5	11,5	13
12	—	—	—	—	13	14	15
—	1/2	12,7	—	—	13,5	14	15
—	—	—	1/4	13,16	—	16	—
14	—	—	—	—	15	16	18
—	5/8	15,88	—	—	17	18	20
16	—	—	—	—	17	18	20
—	—	—	3/8	16,66	—	20	—
18	—	—	—	—	19	20	22
—	3/4	19,05	—	—	20	22	25
20	—	—	—	—	21	22	25
—	—	—	1/2	20,96	—	25	—
22	—	—	—	—	23	25	27
—	7/8	22,22	—	—	23	25	27
—	—	—	5/8	22,91	—	27	—
24	—	—	—	—	25	27	30
—	1	25,4	—	—	26	29	33
—	—	—	3/4	26,44	—	29	—
27	—	—	—	—	28	29	33
—	1 1/8	28,58	—	—	30	33	36
30	—	—	—	—	31	33	36
—	—	—	7/8	30,20	—	33	—
—	1 1/4	31,75	—	—	33	36	40
33	—	—	—	—	34	36	40
—	—	—	1	33,25	—	36	—

Diámetros de tornillos					Agujeros pasantes (Véase punto 1)		
Rosca métrica	Rosca Whitworth		Rosca Gas		Serie fina	Serie media	Serie basta
mm	pulg	mm	—	mm	mm	mm	mm
—	1 3/8	34,92	—	—	36	39	42
36	—	—	—	—	37	39	42
—	—	—	1 1/8	37,90	—	42	—
—	1 1/2	38,1	—	—	40	42	45
39	—	—	—	—	40	42	45
—	1 5/8	41,28	—	—	43	45	49
—	—	—	1 1/4	41,91	—	45	—
42	—	—	—	—	43	45	49
—	—	—	1 3/8	44,32	—	48	—
—	1 3/4	44,45	—	—	46	48	52
45	—	—	—	—	46	48	52
—	1 7/8	47,62	—	—	50	52	56
—	—	—	1 1/2	47,80	—	52	—
48	—	—	—	—	50	52	56
—	2	50,8	—	—	53	56	62
52	—	—	—	—	54	56	62
—	—	—	1 3/4	53,75	—	58	—
56	—	—	—	—	58	60	68
—	2 1/4	57,15	—	—	59	60	68
—	—	—	2	59,61	—	65	—
60	—	—	—	—	62	65	72
—	2 1/2	63,5	—	—	66	68	76
64	—	—	—	—	66	68	76
—	—	—	2 1/4	65,71	—	70	—
68	—	—	—	—	70	74	80
—	—	—	2 3/8	69,40	—	74	—
—	2 3/4	69,85	—	—	72	74	80
72	—	—	—	—	74	78	85
—	—	—	2 1/2	75,18	—	82	—
76	—	—	—	—	78	82	90
—	3	76,2	—	—	78	82	90
80	—	—	—	—	82	86	95
—	—	—	2 3/4	81,53	—	90	—
—	3 1/4	82,55	—	—	85	90	98
85	—	—	—	—	88	90	100
—	—	—	3	87,88	—	95	—
—	3 1/2	88,9	—	—	92	95	105
90	—	—	—	—	93	95	105
—	—	—	3 1/4	93,98	—	102	—
95	—	—	—	—	98	102	110
—	3 3/4	95,25	—	—	98	102	110
100	—	—	—	—	103	108	115
—	—	—	3 1/2	100,33	—	108	—
—	4	101,6	—	—	105	108	115
—	—	—	—	—	—	—	—

* La presente unificación no comprende los agujeros pasantes para pernos calibrados, asimilables a pasadores.

1. Las diferentes series de agujeros pasantes tienen por lo regular las siguientes aplicaciones:
   serie fina, para mecánica de precisión;
   serie media, para construcciones mecánicas en general;
   serie basta, para agujeros obtenidos por fusión.
2. Las medidas impresas en caracteres claros sólo se emplearán por excepción, en caso de necesidad.

Tabla 67



(De la tabla UNI 947-948)

Extremos de tornillos

Medidas en mm

Diámetros de rosca d	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	d_1	r	r_1	Diámetros de rosca Whitworth pulgadas d
3	0,5	0,5	1	2,5	1,5	0,8	2	2,5	0,3	—
4	0,7	0,8	1	3	2	1	2,5	3	0,3	—
5	0,9	0,8	1	3	2,5	1,25	3,5	4	0,3	3/16"
6	1	1	1,5	3,5	3	1,5	4	5	0,4	1/4"
8	1,5	1,2	1,5	5	4	1,5	6	6	0,4	5/16"
10	1,7	1,5	2	5,5	4,5	2	7	8	0,5	3/8"
12	2	2	2	7	5	2	9	10	0,6	1/2"
14	2,3	2	3	7	5,5	3	10	12	0,8	—
16	2,3	2	3	9	6,5	3	12	15	0,8	5/8"
18	3	2,5	3	9	7	3	13	15	0,8	—
20	3	2,5	4	9	7,5	3	15	18	1	3/4"
24	4	3	4	11	8,5	4	18	20	1	—
30	5	4	5	14	11	—	23	25	1,25	1 1/8"
36	6	4	6	14	13,5	—	28	35	1,5	1 3/8"
42	6	5	7	18	16,5	—	33	40	2	1 5/8"
48	5	5	8	18	17	—	38	45	2	1 7/8"
56	—	6	10	22	23	—	45	—	2,5	2 1/4"
64	—	8	12	22	27	—	51	—	3	2 1/2"
72	—	8	12	—	—	—	60	—	3	2 3/4"
80	—	8	14	—	—	—	68	—	4	—

Extremos de tornillos con agujero para pasador

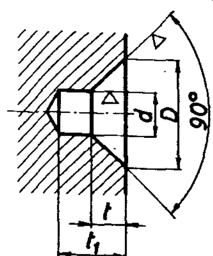
Diámetros de rosca d	c	c_1	c_2	d_2
3	1,5	2	1,7	0,8
4	2	2,2	2	1
5	2,5	2,7	2	1,5
6	3	3,5	2,2	1,5
8	3,5	3,8	3,3	2
10	5	5,5	3,5	2
12	5,5	5,5	4,5	3
14	6	7	4,5	3
16	7	8	5,5	4
18	8	8,5	5,5	4

Diámetros de rosca d	c	c_1	c_2	d_2
20	8	9,5	5,5	4
24	10	11	7	5
30	12	13	9	6
36	12	14	9	6
42	14	17	12	8
48	15	18	12	8
56	16	20	14	10
64	16	20	14	10
72	16	20	—	10
80	16	22	—	10

Tabla 68

Agujeros para tornillos con extremos en punta

(De la tabla UNI 2377)



Ejemplo de designación de un agujero para tornillos con extremos en punta, que tiene d=8 mm y D=16 mm

Sede 8 × 16 UNI 2377

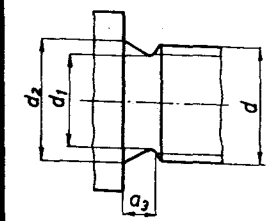
Medidas en mm

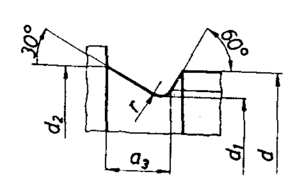
Indicaciones para la designación	t ~	t_1	Diámetro del tornillo correspondiente
1,5 × 4,5	1,5	3	6
2 × 5,5	1,8	3,5	7
2 × 6	2	4	8
2,5 × 7	2,2	5,2	10
4 × 9	2,5	5,5	12
4 × 10	3	5,8	14
6 × 12,5	3,2	7,2	16
6 × 13	3,5	7,5	18
6 × 14	4	7,8	20
8 × 16	4	9	22
9 × 17,5	4,2	10,2	24
9 × 19	5	10,8	27
9 × 20	5,5	11,5	30
10 × 22	6	13	33
10 × 24	7	13,8	36
11 × 26	7,5	14,5	39
11 × 28	8,5	15,2	42
12 × 30	9	16,8	45
12 × 31	9,5	17,5	48
12 × 33	10,5	18,5	52
12 × 35	11,5	19,5	56
12 × 37	12,5	21	60
14 × 41	13,5	24	64

Tabla 70

Ranuras bajo cabeza de las roscas para tornillos con junta

(De la tabla UNI 4153)





Ranuras para roscas métricas

Medidas en mm

Paso P	a_3	r	d_1	d_2	Referencia de diámetros de rosca para tornillería d — Serie MA	Serie MB
0,75	1,6	0,5	d − 1,1	d_1 + 1,4	—	6 ÷ 7
0,8	1,6	0,5	d − 1,2	d_1 + 1,4	5	—
1	2	0,8	d − 1,5	d_1 + 1,6	6 ÷ 7	8 ÷ 10
1,25	2,5	0,8	d − 2	d_1 + 2,2	8 ÷ 9	—
1,5	3	1,2	d − 2,3	d_1 + 2,4	10	12 ÷ 22
1,75	4	1,5	d − 2,5	d_1 + 3,2	12	—
2	4	1,5	d − 3	d_1 + 3,2	14 ÷ 16	24 ÷ 33
2,5	5	1,6	d − 4	d_1 + 4,2	18 ÷ 22	—
3	6	2	d − 4,5	d_1 + 4,8	24 ÷ 27	36 ÷ 52
3,5	7	2,8	d − 5	d_1 + 5,4	30 ÷ 33	—
4	8	3	d − 6	d_1 + 6,4	36 ÷ 39	56÷125
4,5	9	3	d − 7	d_1 + 7,6	42 ÷ 45	—
5	9	3	d − 7,5	d_1 + 7,6	48 ÷ 52	—

Ranuras para roscas Gas

Paso P	a_3	r	d_1	d_2	Referencia de diámetros de rosca
0,907	2	0,8	d − 1,5	d_1 + 1,6	1/8 Gas
1,337	3	1,1	d − 2,3	d_1 + 2,4	1/4 Gas ÷ 3/8 Gas
1,814	4	1,5	d − 2,5	d_1 + 3,2	1/2 Gas ÷ 7/8 Gas
2,309	5	1,6	d − 4	d_1 + 4,2	1 Gas ÷ 6 Gas

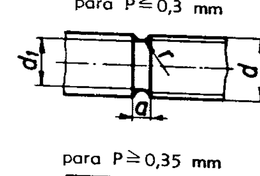
(De la tabla UNI 4152)

Ranuras de roscas y distancias a las caras de apoyo para roscas métricas

Roscas exteriores

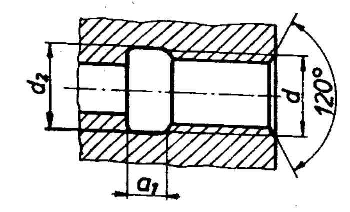
Ranuras con cara de apoyo

Ranuras sencillas para P ≦ 0,3 mm

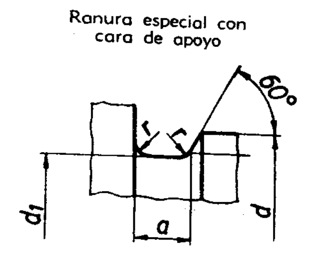


para P ≧ 0,35 mm

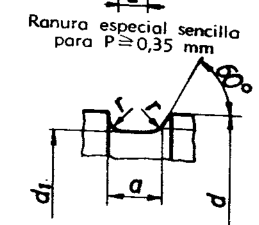
Roscas interiores



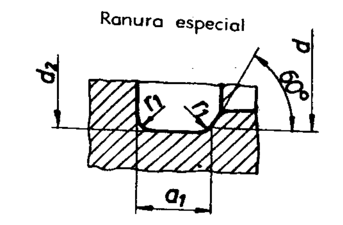
Ranura especial con cara de apoyo



Ranura especial sencilla para P ≧ 0,35 mm



Ranura especial

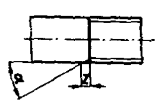


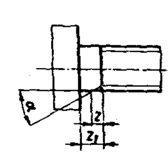
Medidas en mm

Paso P	Roscas exteriores					Roscas interiores					Referencia diámetros de rosca d	
	Serie corta		Serie normal		d_1	Serie corta		Serie normal		d_2		
	Ángulo de corte del aparato de roscar					Ángulo de corte del aparato de roscar						
	$\alpha_1 = 30°$		$\alpha_1 = 20°$			$\alpha_2 = 25°$		$\alpha_2 = 15°$				
	a	r	a	r		a_1	r_1	a_1	r_1		Serie MA	Serie MB
0,2	0,5	0,25	—	—	d — 0,3	—	—	—	—	—	—	1 ÷ 1,7
0,25	0,6	0,3	—	—	d — 0,4	—	—	—	—	—	1 — 1,2	2 — 2,3
0,3	0,6	0,3	—	—	d — 0,5	—	—	—	—	—	1,4	—
0,35	0,8	0,25	—	—	d — 0,5	—	—	—	—	—	1,7	2,6 ÷ 3,5
0,4	1	0,3	—	—	d — 0,6	—	—	—	—	—	2 — 2,3	—
0,45	1	0,3	—	—	d — 0,7	—	—	—	—	—	2,6	—
0,5	1,2	0,4	—	—	d — 0,8	1	0,5	1,6	0,6	d + 0,3	3	4 ÷ 5,5
0,6	1,2	0,4	—	—	d — 0,9	1,2	0,5	2	0,6	d + 0,3	3,5	—
0,7	1,6	0,5	—	—	d — 1	1,6	0,6	2	0,6	d + 0,3	4	—
0,75	1,6	0,5	—	—	d — 1,1	1,6	0,6	2,5	0,8	d + 0,3	4,5	6 — 7
0,8	1,6	0,5	—	—	d — 1,2	1,6	0,6	2,5	0,8	d + 0,3	5	—
1	1,6	0,5	2	0,8	d — 1,5	2	0,6	3	0,8	d + 0,5	6 — 7	8 ÷ 11
1,25	1,6	0,5	2,5	1	d — 2	2,5	0,8	4	1	d + 0,5	8 — 9	—
1,5	2	0,8	3	1,2	d — 2,3	3	0,8	5	1,2	d + 0,5	10	12 ÷ 22
1,75	2,5	1	4	1,5	d — 2,5	3,5	1	5	1,2	d + 0,5	12	—
2	2,5	1	4	1,5	d — 3	4	1	6	1,5	d + 0,5	14 — 16	24 ÷ 33
2,5	3	1,2	5	2	d — 4	5	1,2	8	2	d + 0,5	18 ÷ 22	—
3	4	1,5	6	2,2	d — 4,5	6	1,5	10	2,2	d + 0,5	24 — 27	34 ÷ 52
3,5	5	2	7	2,5	d — 5	6	1,5	10	2,2	d + 1	30 — 33	—
4	5	2	8	3	d — 6	8	2	12	3	d + 1	36 — 39	56 ÷ 400

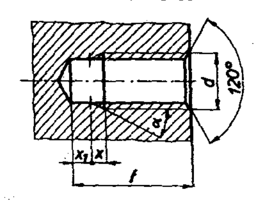
Tabla 71

Roscas exteriores





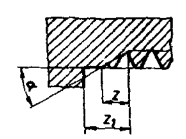
Roscas interiores



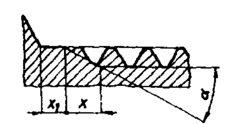
(De la tabla UNI 4151)

Salidas de roscas y distancias de resaltes para roscas métricas

Detalle del perfil del chaflán



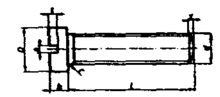
Detalle del perfil del chaflán



Medidas en mm

Paso P	Roscas interiores				Roscas exteriores		Referencia diámetros de rosca d	
	Serie corta		Serie normal		Serie normal			
	Para corte				Para corte			
	con α = 30°		con α = 20°		con α = 20°			
	z	z_1	z	z_1	x	x_1	Serie MA	Serie MB
0,2	0,3	0,7	0,4	0,7	0,4	0,6	—	1 ÷ 1,7
0,25	0,3	0,7	0,5	0,7	0,5	0,8	1 — 1,2	2 — 2,3
0,3	0,4	0,8	0,6	0,8	0,6	1	1,4	—
0,35	0,4	0,9	0,7	0,9	0,7	1	1,7	2,6 ÷ 3,5
0,4	0,5	1	0,8	1,1	0,8	1	2 — 2,3	—
0,45	0,5	1	0,9	1,2	0,9	1,6	2,6	—
0,5	0,6	1,1	1	1,5	1	1,8	3	4 ÷ 4,5
0,6	0,7	1,2	1,2	1,6	1,2	1,8	3,5	—
0,7	0,8	1,3	1,4	1,8	1,4	2	4	—
0,75	1	1,5	1,5	2	1,5	2	4,5	6 — 7
0,8	1	1,5	1,6	2	1,6	2	5	—
1	1,2	1,8	2	2,5	2	2,5	6 — 7	8 ÷ 11
1,25	1,4	2	2,5	3	2,5	2,5	8 — 9	—
1,5	1,8	2,5	3	3,5	3	2,5	10	12 ÷ 22
1,75	2	3	3,5	4	3,5	2,5	12	—
2	2,5	3,5	4	5	4	2,5	14 — 16	24 ÷ 33
2,5	3	4	4,5	6	5	2,5	18 ÷ 22	—
3	3,5	5	5,5	7	6	2,5	24 — 27	34 ÷ 52
3,5	4	6	6,5	8	7	3	30 — 33	—
4	4,5	6,5	7,5	9	8	3	36 — 39	56 ÷ 400
4,5	5	7,5	8	10	9	3	42 — 45	—
5	6	9	9	11	10	3	48 — 52	—
5,5	6,5	10	10	13	11	4	56 — 60	—
6	7	11	11	15	12	4	64 ÷ 80	—

(De la tabla UNI 236)



Tornillos de cabeza cilíndrica con ranura

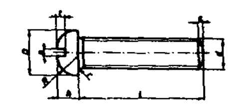
Ejemplo de designación de un tornillo mecanizado de cabeza cilíndrica, UNI 236, que tiene d = 12 mm y l = 40 milímetros:

12 × 40 UNI 236

Medidas en mm

d	D	h	n	t	r	v	l
1	2	0,7	0,3	0,3	—	0,2	de 1,5 a 6
1,4	2,6	1	0,3	0,5	—	0,3	» 2 » 10
2	4	1,4	0,4	0,7	—	0,4	» 2 » 16
2,6	5	1,8	0,6	0,9	—	0,5	» 3 » 20
3	5,5	2	0,6	1	0,2	0,5	» 4 » 22
4	7	2,8	0,8	1,4	0,2	0,7	» 5 » 28
5	9	3,5	1,2	1,7	0,2	0,9	» 6 » 38
6	10	4	1,2	2	0,5	1	» 7 » 38
8	13	5	1,5	2,5	0,5	1,5	» 10 » 42
10	16	6	2	3	0,5	1,7	» 12 » 50
12	18	7	3	3,5	0,5	2	» 16 » 55
14	22	8	3	3,5	1	2,3	» 18 » 60
16	24	9	3	4	1	2,3	» 20 » 65
18	27	10	4	4,5	1	3	» 22 » 70
20	30	11	4	4,5	1	3	» 25 » 75

(De la tabla UNI 252)



Tornillos de cabeza redonda con ranura

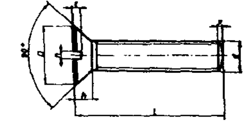
Ejemplo de designación de un tornillo de cabeza redonda, mecanizado UNI 252 que tiene d = 12 mm y l = 40 mm:

12 × 40 UNI 252

Medidas en mm

d	D	h	R	n	t	r	v	l
1	2	1	0,8	0,3	0,5	—	0,2	de 1,5 a 6
1,4	2,6	1,3	1	0,3	0,6	—	0,3	» 2 » 10
2	4	2	1,6	0,4	1	—	0,4	» 2 » 16
2,6	5	2,5	2	0,6	1,2	—	0,5	» 3 » 20
3	5,5	2,5	2	0,6	1,2	0,2	0,5	» 4 » 22
4	7	3,5	2,8	0,8	1,7	0,2	0,7	» 5 » 28
5	9	4,5	3,5	1,2	2,2	0,2	0,9	» 6 » 38
6	10	5	4	1,2	2,5	0,5	1	» 7 » 38
8	13	5,5	4,8	1,5	2,7	0,5	1,5	» 10 » 42
10	16	7	6,5	2	3,5	0,5	1,7	» 12 » 50
12	18	8	7,5	3	4	0,5	2	» 16 » 55
14	22	9	8,5	3	4,5	1	2,3	» 18 » 60
16	24	10	9,5	3	5	1	2,3	» 20 » 60
18	27	11	11	4	5,5	1	3	» 22 » 70
20	30	12	12	4	6	1	3	» 25 » 75

(De la tabla UNI 256)



Tornillos de cabeza cilíndrica a 90° con ranura

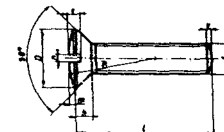
Ejemplo de designación de un tornillo de cabeza avellanada a 90°, mecanizado, UNI 256, que tiene d = 12 mm y l = 40 mm:

12 × 40 UNI 256

Medidas en mm

d	D	h	n	t	v	l
1	2	0,6	0,3	0,3	0,2	de 2 a 6
1,4	2,6	0,8	0,3	0,4	0,3	» 3 » 10
2	4	1,2	0,4	0,6	0,4	» 3 » 16
2,6	5	1,4	0,6	0,7	0,5	» 4 » 20
3	6	1,7	0,6	0,8	0,5	» 6 » 22
4	8	2,3	0,8	1,1	0,7	» 7 » 28
5	10	2,8	1,2	1,4	0,9	» 8 » 38
6	12	3,3	1,2	1,6	1	» 10 » 38
8	16	4,4	1,5	2,2	1,5	» 12 » 42
10	20	5,5	2	2,8	1,7	» 18 » 50
12	24	6,5	3	3,2	2	» 20 » 55
14	27	7	3	3,5	2,3	» 22 » 60
16	30	7,5	3	3,8	2,3	» 25 » 65
18	33	8	4	4	3	» 30 » 70
20	36	8,5	4	4,2	3	» 32 » 75

(De la tabla UNI 270)



Tornillos de cabeza gota de sebo, avellanada a 90° con ranura

Ejemplo de designación de un tornillo mecanizado, con cabeza avellanada a 90°, gota de sebo, UNI 270, que tiene d = 12 mm y l = 40 mm:

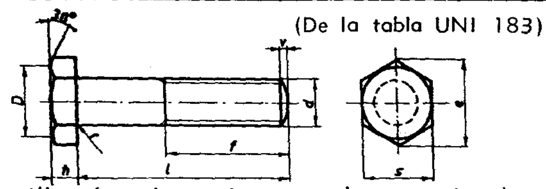
12 × 40 UNI 270

Medidas en mm

d	D	h	R	m ≃	n	t	v	l
1	2	0,6	3	0,15	0,3	0,4	0,2	de 2 a 6
1,4	2,6	0,8	4	0,2	0,3	0,5	0,3	» 3 » 10
2	4	1,2	6	0,3	0,4	0,8	0,4	» 3 » 16
2,6	5	1,4	8	0,4	0,6	1	0,5	» 4 » 20
3	6	1,7	10	0,5	0,6	1,2	0,5	» 6 » 22
4	8	2.3	12	0,7	0,8	1,7	0,7	» 7 » 28
5	10	2,8	15	0,9	1,2	2	0,9	» 8 » 38
6	12	3,3	18	1	1,2	2,5	1	» 10 » 38
8	16	4,4	25	1,3	1,5	3,2	1,5	» 12 » 42
10	20	5,5	30	1,7	2	4,2	1,7	» 18 » 50
12	24	6,5	35	2,1	3	5	2	» 20 » 55
14	27	7	40	2,3	3	5,5	2,3	» 22 » 60
16	30	7,5	45	2,6	3	6	2,3	» 25 » 65
18	33	8	50	2,8	4	6,5	3	» 30 » 70
20	36	8,5	55	3	4	7	3	» 32 » 75

Longitudes unificadas: **2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 30; 35; 40; 45; 50; 55; 60; 65; 70; 75.**

(De la tabla UNI 183)



Tornillos de cabeza hexagonal, mecanizados

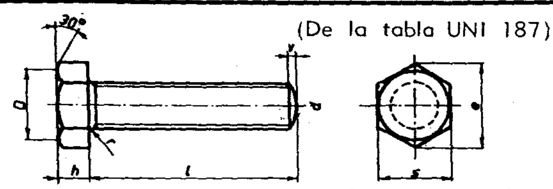
Ejemplo de designación de un tornillo de cabeza hexagonal, mecanizado, que tiene d=30 mm y l=90 mm:

30 × 90 UNI 183

Medidas en mm

Indicaciones para la designación		s	e ≃	h	r	f		v ≃
d	l					para l ≤ 100	para l > 100	
3	de 12 a 25	6	6,9	2,5	0,2	8	—	0,5
4	» 14 » 30	7	8,1	3	0,2	10	—	0,7
5	» 18 » 40	8	9,2	3,5	0,2	12	—	0,9
6	» 22 » 40	10	11,5	4	0,5	16	—	1
8	» 28 » 45	14	16,2	5,5	0,5	20	—	1,5
10	» 32 » 50	17	19,6	6,5	0,5	25	—	1,7
12	» 35 » 70	19	21,9	8	0,5	28	—	2
14	» 38 » 70	22	25,4	9	1	30	—	2,3
16	» 42 » 85	24	27,7	10	1	35	—	2,3
18	» 45 » 85	27	31,2	11	1	38	—	3
20	» 48 » 90	30	34,6	13	1	40	—	3
24	» 55 » 110	36	41,6	15	1	45	50	4
30	» 65 » 130	46	53,1	19	1	55	60	5
36	» 80 » 140	55	63,5	23	1,5	65	70	6
42	» 90 » 150	65	75,0	26	1,5	75	80	6

(De la tabla UNI 187)



Tornillos de cabeza hexagonal, mecanizados

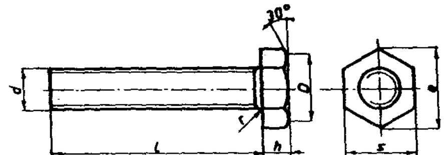
Ejemplo de designación de un tornillo de cabeza hexagonal, mecanizado, que tiene d=30 mm y l=60 mm:

30 × 60 UNI 187

Medidas en mm

Indicaciones para la designación		s	e ≃	h	r	v
d	l					
3	de 4 a 25	6	6,9	2,5	0,2	0,5
4	» 5 » 30	7	8,1	3	0,2	0,7
5	» 8 » 40	8	9,2	3,5	0,2	0,9
6	» 8 » 40	10	11,5	4	0,5	1
8	» 12 » 45	14	16,2	5,5	0,5	1,5
10	» 16 » 50	17	19,6	6,5	0,5	1,7
12	» 18 » 70	19	21,9	8	0,5	2
14	» 20 » 70	22	25,4	9	1	2,3
16	» 25 » 85	24	27,7	10	1	2,3
18	» 28 » 85	27	31,2	11	1	3
20	» 30 » 90	30	34,6	13	1	3
24	» 35 » 110	36	41,6	15	1	4
30	» 40 » 120	46	53,1	19	1	5
36	» 48 » 150	55	63,5	23	1,5	6
42	» 50 » 170	65	75,0	26	1,5	6

(De la tabla UNI 870)



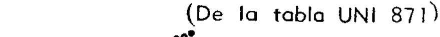
Tornillos métricos bastos de cabeza hexagonal

Ejemplo de designación de un tornillo métrico basto, de cabeza hexagonal, tipo totalmente roscado, que tiene d=30 y l=60 mm:

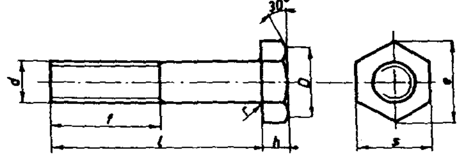
30 × 60 UNI 870

Medidas en mm

Indicaciones para la designación		s	e ≃	h	r
d	l				
5	de 10 a 35	9	10,4	4	0,2
6	» 10 » 35	10	11,5	4,5	0,5
8	» 15 » 40	14	16,2	6	0,5
10	» 15 » 50	17	19,6	7	0,5
12	» 20 » 60	19	21,9	9	0,5
14	» 25 » 70	22	25,4	10	1
16	» 30 » 80	27	31,2	12	1
18	» 35 » 80	27	31,2	12	1
20	» 35 » 90	32	36,9	14	1
24	» 40 » 110	36	41,6	16	1
30	» 45 » 120	46	53,1	20	1
36	» 50 » 150	55	63,5	24	1,5
42	» 60 » 160	65	75,0	28	1,5
48	» 70 » 180	75	86,5	32	2



(De la tabla UNI 871)



Tornillos métricos brutos de cabeza hexagonal

Ejemplo de designación de un tornillo métrico bruto de cabeza hexagonal, tipo parcialmente roscado de rosca corta, que tiene d=30 mm y l=160 mm:

30 × 160 UNI 871

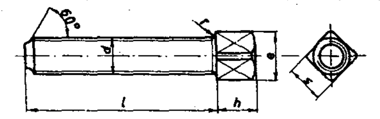
Medidas en mm

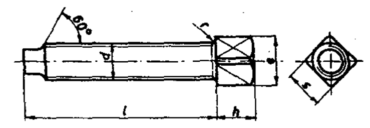
Indicaciones para la designación		s	e ≃	h	r	f
d	l					
5	de 25 a 65	9	10,4	4	0,2	18
6	» 30 » 70	10	11,5	4,5	0,5	20
8	» 30 » 100	14	16,2	6	0,5	24
10	» 100 » 140	17	19,6	7	0,5	27
12	» 40 » 180	19	21,9	9	0,5	30
14	» 40 » 200	22	25,4	10	1	32
16	» 45 » 200	27	31,2	12	1	36
18	» 50 » 200	27	31,2	12	1	40
20	» 55 » 220	32	36,9	14	1	45
24	» 60 » 250	36	41,6	16	1	50
30	» 70 » 250	46	53,1	20	1	60
36	» 100 » 250	55	63,5	24	1,5	70
42	» 140 » 250	65	75,0	28	1,5	80
48	» 150 » 250	75	86,5	32	2	90

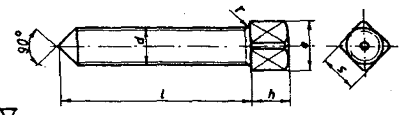
(Tabla UNI 2379)

Medidas en mm

Tornillos de cabeza cuadrada pequeña


Tipo A (con espiga rebajada)


Tipo B (con espiga)


▽ Tipo C (con extremo en punta)

Ejemplo de designación de un tornillo de cabeza cuadrada pequeña, tipo A, que tiene d = 10 mm y l = 30 mm:

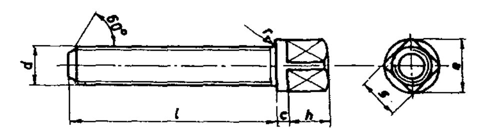
Tornillo A 10 × 30 UNI 2379

Indicaciones para la designación		e	h	r	s
d	l				
5	de 10 a 40	6,5	5	0,2	5
6	» 16 » 45	8	6	0,5	6
7	» 16 » 50	9	7	0,5	7
8	» 16 » 55	10	8	0,5	8
10	» 20 » 80	13	10	0,5	10
12	» 30 » 80	16	12	0,5	12
14	» 30 » 110	18	14	1	14
16	» 30 » 120	22	16	1	17
18	» 40 » 140	25	18	1	19
20	» 45 » 150	28	20	1	22

Longitudes unificadas: **10; 12; 14; 16; 18; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55; 60; 65; 70; 75; 80; 90; 100; 110; 120; 130; 140; 150; 160; 170; 180; 190; 200.**

(Tabla UNI 2381)

Tornillos de cabeza cuadrada pequeña, con cuello



▽

Ejemplo de designación de un tornillo de cabeza cuadrada pequeña, con cuello, que tiene d = 10 milímetros y l = 30 mm:

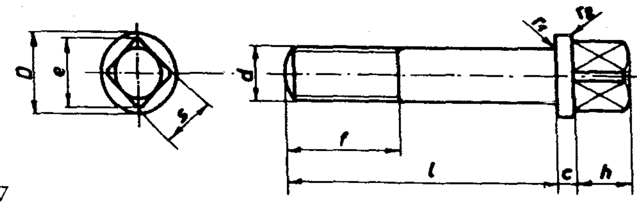
Tornillo 10 × 30 UNI 2381

Medidas en mm

Indicaciones para la designación		c	e	h	r	s
d	l					
5	de 10 a 40	2	6,5	5	0,2	5
6	» 16 » 45	2	8	6	0,5	6
7	» 16 » 50	2	9	7	0,5	7
8	» 16 » 60	2	10	8	0,5	8
10	» 20 » 80	3	13	10	0,5	10
12	» 30 » 90	3	16	12	0,5	12
14	» 30 » 110	4	18	14	1	14
16	» 30 » 120	4	22	16	1	17
18	» 45 » 140	5	25	18	1	19
20	» 45 » 150	5	28	20	1	22

(Tabla UNI 2380)

Tornillos de cabeza cuadrada pequeña, con aro



▽

Ejemplo de designación de un tornillo de cabeza cuadrada pequeña, con aro, que tiene d = 10 mm y l = 30 mm:

Tornillo 10 × 30 UNI 2380

Medidas en mm

Indicaciones para la designación		c	D	e	f		h	r_1	r_2	s
d	l				para l ≤ 80	para l > 80				
5	de 10 a 30	2	9	6,5	14	—	5	0,2	0,3	5
6	» 12 » 40	2	11	8	16	—	6	0,5	0,4	6
8	» 16 » 50	2	13	10	20	—	8	0,5	0,4	8
10	» 20 » 70	3	16	13	24	—	10	0,5	0,5	10
12	» 25 » 90	3	19	16	25	30	12	0,5	0,6	12
14	» 30 » 120	4	21	18	30	35	14	1	0,8	14
16	» 30 » 120	4	25	22	30	35	16	1	0,8	17
18	» 35 » 150	5	28	25	35	40	18	1	0,8	19
20	» 40 » 160	5	32	28	40	45	20	1	1	22
24	» 45 » 200	6	36	32	45	50	22	1	1	24

Tabla 75

(De la tabla UNI 2383)

Tornillos de cabeza cilíndrica con hexágono interior

Ejemplo de designación de un tornillo de cabeza cilíndrica con hexágono interior, que tiene d = 10 mm y l = 30 mm:

Tornillo 10 × 30 UNI 2383

Medidas en mm

Indicaciones para la designación d	l	a	D	e	f para l ≤ 80	f para l > 80	h (v. punto 2)	r_1	s (v. punto 2)	t
4	de 10 a 50	0,5	7	4	12,5	—	4,5	0,2	3,5	3
5	» 12 » 60	0,5	9	5,2	14	—	5,5	0,2	4,5	3,5
6	» 14 » 70	0,5	10	5,8	16	—	6	0,5	5	4
8	» 20 » 100	0,5	13	6,9	20	25	8	0,5	6	5
10	» 20 » 110	0,8	16	9,2	24	29	10	0,5	8	7
12	» 25 » 120	0,8	18	11,5	25	30	12	0,5	10	9
14	» 30 » 130	1	22	13,8	30	35	14	1	12	11
16	» 35 » 150	1	24	13,8	30	35	16	1	12	11
18	» 40 » 150	1,5	27	16,2	35	40	18	1	14	12
20	» 50 » 150	1,5	30	16,2	40	45	20	1	14	12
24	» 50 » 150	1,5	36	19,6	45	50	24	1	17	14

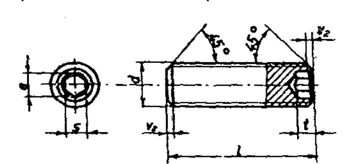
Medidas de las longitudes unificadas: **10; 12; 14; 16; 18; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55; 60; 65; 70; 75; 80; 90; 100; 110; 120; 130; 140; 150.**

(De la tabla UNI 2384)

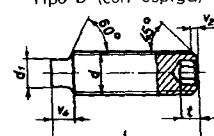
Medidas en mm

Tornillos sin cabeza, con hexágono interior

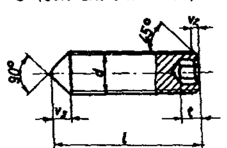
Tipo A (con extremo plano achaflanado)



Tipo B (con espiga)



Tipo C (con extremo en punta)



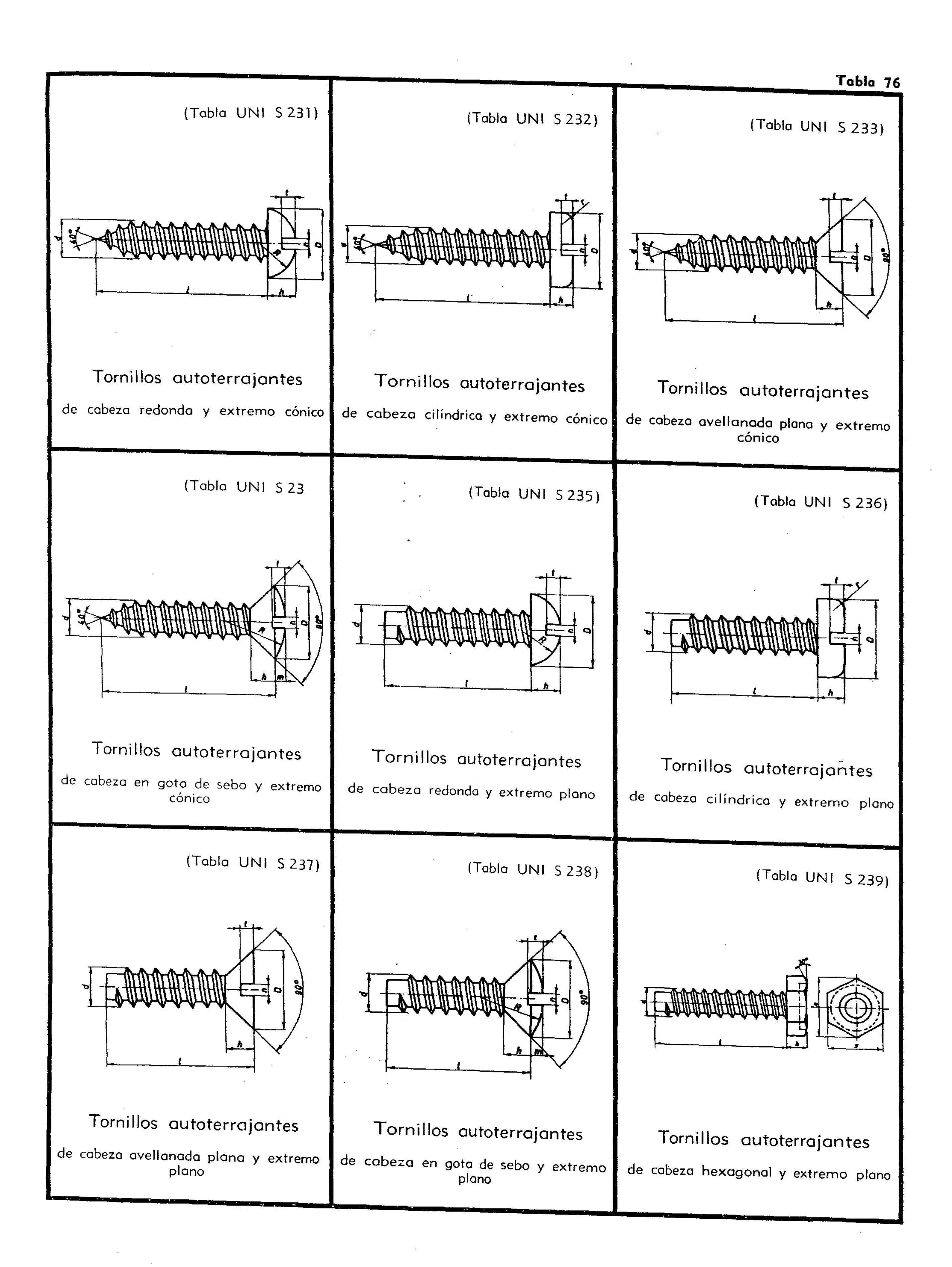
Ejemplo de designación de un tornillo sin cabeza, con hexágono interior, tipo A (con extremo plano achaflanado), que tiene d = 10 mm y l = 30 mm:

Tornillo A 10 × 30 UNI 2384

Indicaciones para la designación d	l	e	s	t
5	de 6 a 30	2,9	2,5	2,5
6	» 6 » 35	3,5	3	3
7	» 7 » 40	4	3,5	3
8	» 7 » 40	4,6	4	3,5
10	» 7 » 50	5,8	6	4
12	» 10 » 60	6,9	6	5
14	» 12 » 75	8,1	7	6
16	» 12 » 75	9,2	8	7
18	» 16 » 75	10,4	9	8
20	» 16 » 75	11,5	10	9
22	» 20 » 75	13,8	12	11
24	» 20 » 75	13,8	12	11

Medidas de las longitudes unificadas: **6; 7; 8; 9; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55; 60; 65; 70; 75.**

Tabla 76


(Tabla UNI S 231)
Tornillos autoterrajantes
de cabeza redonda y extremo cónico
(Tabla UNI S 232)
Tornillos autoterrajantes
de cabeza cilíndrica y extremo cónico
(Tabla UNI S 233)
Tornillos autoterrajantes
de cabeza avellanada plana y extremo cónico
(Tabla UNI S 23
Tornillos autoterrajantes
de cabeza en gota de sebo y extremo cónico
(Tabla UNI S 235)
Tornillos autoterrajantes
de cabeza redonda y extremo plano
(Tabla UNI S 236)
Tornillos autoterrajantes
de cabeza cilíndrica y extremo plano
(Tabla UNI S 237)
Tornillos autoterrajantes
de cabeza avellanada plana y extremo plano
(Tabla UNI S 238)
Tornillos autoterrajantes
de cabeza en gota de sebo y extremo plano
(Tabla UNI S 239)
Tornillos autoterrajantes
de cabeza hexagonal y extremo plano

Los tornillos autoterrajantes son muy usados en las carrocerías de automóviles.

Tuercas. Se ha compuesto una tabla que contiene las denominaciones y un croquis de todos los tipos de tuercas unificados (tabla 77). Le siguen otras tablas con las medidas unificadas de varios tipos, que tienen interés especial para los dibujantes (tablas 78 a 81).

En cuanto al empleo de los diferentes tipos, en general no necesita explicación. Los pernos y tornillos con cabeza moleteada se emplean en aparatos de control y medida, por ejemplo, en el palmer, etcétera.

Las tuercas de mariposa, llamadas comúnmente palomillas, se emplean cuando conviene un cierre rápido, o cuando las tuercas se han de apretar o aflojar con frecuencia.

60. Normas sobre llaves de maniobra

Para apretar las tuercas de los pernos se emplean llaves adecuadas. Éstas interesan al dibujante solamente en cuanto ha de conocer los tipos existentes, sus medidas, etc., para tenerlo presente al fijar la posición de los pernos, para que sus tuercas sean accesibles a las llaves correspondientes que necesitan espacio para la maniobra (tabla 82); la maniobra de las llaves ha de ser fácil en todos los casos, pero especialmente para las tuercas que se prevé que se han de colocar y quitar con bastante frecuencia.

Los tipos de llaves unificados están representados en la tabla 83.

Para escoger las llaves convenientes según la anchura de las tuercas, cabezas de tornillos, etc., se usa la tabla **UNI 946,** de la que se ha entresacado en la tabla 84 cuanto puede interesar al dibujante.

En caso necesario se pueden usar alargamientos sencillos **(UNI 3123)** o uniones «cardan» **(UNI 3124)** y también manivelas para llaves de dollas **(UNI 3125),** que están incluidas en la tabla resumen de las llaves.

Para la maniobra de pernos de cabeza cuadrada o hexagonal, así como para otras muchas aplicaciones, pueden ser necesarios volantes de mano, manivelas, mangos diversos. Estos accesorios se han unificado solamente para usos navales, pero tales unificaciones se han adoptado también para el empleo corriente en otras aplicaciones, por lo que se han reunido en la tabla 85 los tipos unificados para conocimiento de su existencia.

En la tabla 86 se han reunido los elementos unificados de los extremos de vástagos que se hayan de maniobrar con volantes, manivelas o mangos.

61. Disposiciones y procedimientos para impedir el aflojamiento de los pernos y de las tuercas

Algunas de las uniones realizadas mediante pernos fijan partes de máquinas no sometidas o poco sometidas a vibraciones; otras, en cambio, se efectúan entre partes que están en vibración continua (por ejemplo, en un motor de explosión). Especialmente los pernos de estos últimos tienen siempre tendencia a aflojarse, tendencia que evidentemente se ha de impedir con medios adecuados.

El medio más sencillo es el empleo de la **contratuerca** (fig. II, 302). Consiste ésta en una segunda tuerca que se atornilla sobre la verdadera y propia tuerca, después de apretarla; la contratuerca, apretada contra la tuerca, impide que se afloje por la presión que ejerce.

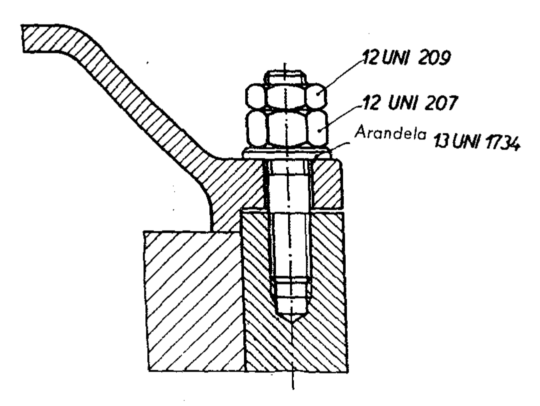


Fig. II, 302. *La contratuerca es el dispositivo más sencillo para evitar el aflojamiento de una tuerca.*

Otro medio es el constituido por los **pasadores de aletas** o partidos. Están formados por una barrita de acero, latón, cobre, etc., de sección semicircular (figura II, 303) doblada sobre sí misma hasta tocarse las caras planas, de modo que en la mitad forme un ojo de forma aproximadamente circular. El pasador

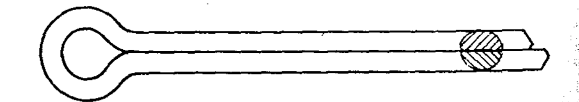


Fig. II, 303. *Pasador de aletas.*

se introduce en un agujero convenientemente practicado en el vástago del perno, después de apretar la tuerca; en este caso se usan generalmente tuercas de tipo almenado y el agujero se corresponde con una de las ranuras de la tuerca. Es evidente que este agujero se ha de practicar después del montaje; por lo tanto, la cota correspondiente a la posición del agujero, no puede nunca estar indicada en el dibujo. Los extremos del pasador (opuestos al ojo) se doblan hacia el exterior en sentidos opuestos, como se ve en las figuras de la tabla 87.

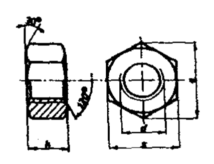
Tabla 77

CUADRO DE LAS TUERCAS UNIFICADAS

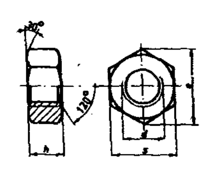
Denominación	Tipos diversos	Figura esquemática	Tabla UNI
Métricas hexagonales	brutas {altas, normales mecanizadas {altas, medias, bajas		895 894 205 ; 206 207 ; 208 209 ; 210
Hexagonales almenadas	brutas mecanizadas {normales, bajas		897 215 ; 216 217;1727
Hexagonales con collarín para soldar	altas bajas		2404 2405
Hexagonales con collarín para remachar	altas bajas		2406 2407
Hexagonales ciegas	de cuerpo cilíndrico		2732
	de sombrerete plano		2733
	de sombrerete esférico idem, de poca anchura		2734 2735
	con sombrerete superpuesto		2736
Métricas cuadradas	brutas mecanizadas bajas		896 213
Para husillos portafresas			3093
De tapón (uniones de tuberías de gas)	sencillas con cierre de ojiva con cierre de anillo		365 589 602

Denominación	Tipos diversos	Figura esquemática	Tabla UNI
Cilíndricas	normales		2030
	estampadas		2395
	con ranura		2396
	moleteadas con cuello		2397
	moleteadas huecas con cuello		2398
	moleteadas con resalto		2399
	moleteadas con alojamiento		2400
De mariposa	—		2401
De astas	—		2402
De cáncamo	—		2403
Para bridas de tuberías	mecanizadas {altas, medias		2220 2221

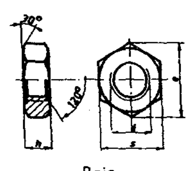
(De las tablas UNI 205-210)



Alto



Medio



Bajo

Tuercas hexagonales mecanizadas, altas, medias, bajas

Ejemplo de designación de una tuerca hexagonal alta, mecanizada, UNI 205, que tiene el diámetro de rosca de 30 mm:

30 UNI 205

Medidas en mm

Rosca sistema métrico serie MA

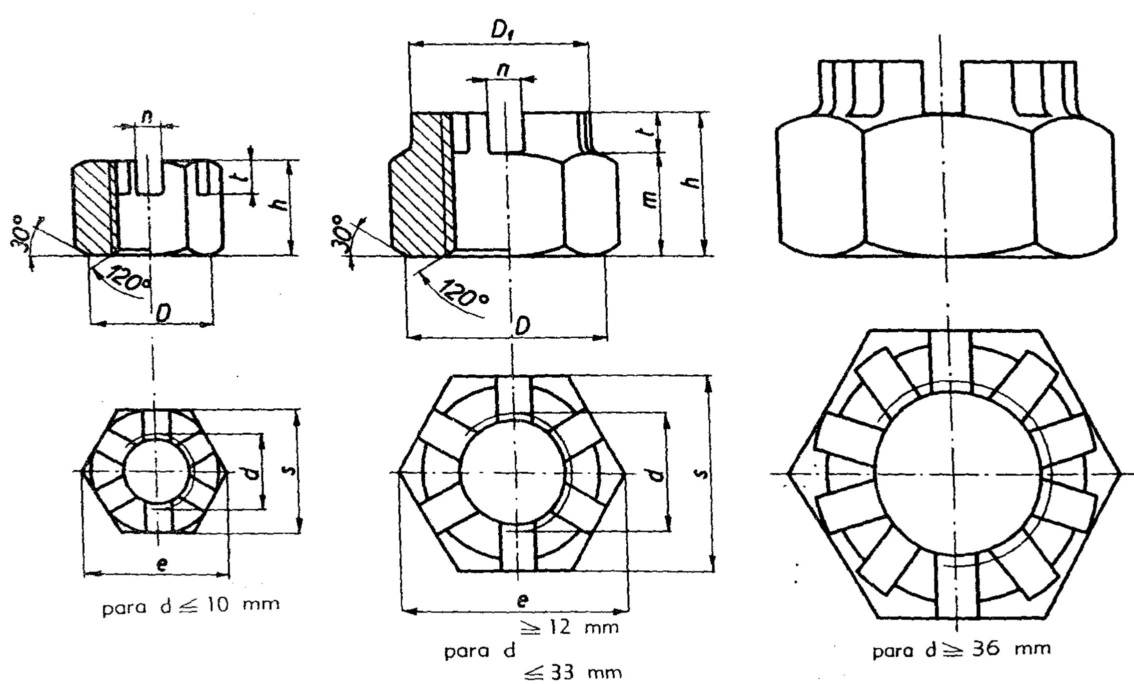
d	Tuercas hexagonales altas (UNI 205)			Tuercas hexagonales medias (UNI 207)			Tuercas hexagonales bajas (UNI 209)		
	s	e	h	s	e	h	s	e	h
2	4,5	5,2	2	—	—	—	—	—	—
2,6	5,5	6,4	2,6	—	—	—	—	—	—
3	6	6,9	3	—	—	—	—	—	—
4	7	8,1	4	7	8,1	3,2	—	—	—
5	8	9,2	5	8	9,2	4	8	9,2	3,5
6	10	11,5	6	10	11,5	5	10	11,5	4
8	14	16,2	8	14	16,2	6,5	14	16,2	5
10	17	19,6	10	17	19,6	8	17	19,6	6
12	19	21,9	12	19	21,9	10	19	21,9	7
14	22	25,4	14	22	25,4	11,5	22	25,4	8
16	24	27,7	16	24	27,7	13	24	27,7	8
18	27	31,2	18	27	31,2	14,5	27	31,2	9
20	30	34,6	20	30	34,6	16	30	34,6	9
24	36	41,6	24	36	41,6	19,5	36	41,6	10
30	46	53,1	30	46	53,1	24	46	53,1	12
36	55	63,5	36	55	63,5	29	55	63,5	14
42	65	75,0	42	65	75,0	34	65	75,0	16
48	70	80,8	48	70	80,8	39	70	80,8	18
56	80	92,4	56	80	92,4	45	—	—	—
64	90	104	64	90	104	51	—	—	—
72	100	116	72	100	116	58	—	—	—
80	110	127	80	110	127	64	—	—	—

Rosca sistema métrico serie MB

d	Tuercas hexagonales altas (UNI 206)			Tuercas hexagonales medias (UNI 208)			Tuercas hexagonales bajas (UNI 210)		
	s	e	h	s	e	h	s	e	h
3	6	6,9	3	—	—	—	—	—	—
4	7	8,1	3,5	7	8,1	3,2	—	—	—
5	8	9,2	5	8	9,2	4	8	9,2	3,5
6	10	11,5	6	10	11,5	5	15	11,5	4
8	14	16,2	8	14	16,2	6,5	14	16,2	5
10	17	19,6	10	17	19,6	8	17	19,6	6
12	19	21,9	12	19	21,9	10	19	21,9	7
14	22	25,4	14	22	25,4	11,5	22	25,4	8
16	24	27,7	16	24	27,7	13	24	27,7	8
18	27	31,2	18	27	31,2	14,5	27	31,2	9
20	30	34,6	20	30	34,6	16	30	34,9	9
24	36	41,6	24	36	41,6	19,5	36	41,6	10
30	46	53,1	30	46	53,1	24	46	53,1	12
36	55	63,5	36	55	63,5	29	55	63,5	14
42	65	75,0	42	65	75,0	34	65	75,0	16
48	70	80,8	48	70	80,8	39	70	80,8	18
56	—	—	—	—	—	—	80	92,4	22
64	—	—	—	—	—	—	90	104	26
72	—	—	—	—	—	—	100	116	28
80	—	—	—	—	—	—	110	127	32
90	—	—	—	—	—	—	130	150	36
100	—	—	—	—	—	—	145	167	40

(De las tablas UNI 215-216)

Tuercas hexagonales almenadas, mecanizadas - Roscas sistema métrico serie **MA** y serie **MB**



Ejemplo de designación de una tuerca almenada, mecanizada, UNI 215, que tiene el diámetro de rosca de 30 mm: 30 UNI 215 (Rosca sistema métrico MA).
Ejemplo de designación de una tuerca almenada, mecanizada, UNI 216, que tiene el diámetro de rosca de 30 mm: 30 UNI 216 (Rosca sistema métrico MB).

Medidas en mm

d	s	e ≃	m	h	D_1	t	n	Número de ranuras
3	6	6,9	—	4,5	—	1,5	1	6
4	7	8,1	—	6	—	2,0	1,2	6
5	8	9,2	—	6,5	—	2,0	1,2	6
6	10	11,5	—	8	—	2,5	1,5	6
8	14	16,2	—	10,5	—	4	2,5	6
10	17	19,6	—	12	—	4	2,5	6
12	19	21,9	10	15	18	5	3,5	6
14	22	25,4	11,5	16,5	20	5	3,5	6
16	24	27,7	13	19	22	6	4,5	6
18	27	31,2	14,5	20,5	25	6	4,5	6
20	30	34,6	16	22	28	6	4,5	6
24	36	41,6	19,5	27,5	34	8	6	6
30	46	53,1	24	33	42	9	7	6
36	55	63,5	29	38	50	9	7	10
42	65	75,0	34	46	60	12	9	10
48	70	80,8	39	51	65	12	9	10

(De la tabla UNI 2401)

canto redondeado.

~(▽)

Tuercas de mariposa

Ejemplo de designación de una tuerca de mariposa, que tiene d = 10 mm:

Tuerca 10 UNI 2401

Rosca métrica, serie MA — Medidas en mm

Indicaciones para la designación d	D	D_1	d_1	e	g	g_1	h	m	r	r_1
2	5	4	4	12	1	1,2	6	3	0,5	1,2
2,6	6	5	5	16	1,2	1,6	8	4	0,5	1,6
3	6	5	5	16	1,2	1,6	8	4	0,5	1,6
4	8	6	6	20	1,6	2	10	5	0,5	2
5	10	8	8	25	2	2,5	12	6	0,5	2,5
6	12	10	10	32	2,5	3	16	8	1	3
8	16	12	12	40	3	4	20	10	1	4
10	20	16	16	50	4	5	25	12	1,2	5
12	23	19	19	64	5	6	32	14	1,2	6
14	28	22	22	72	6	7	36	16	1,6	7
16	28	22	22	72	6	7	36	16	1,6	7
18	32	25	25	80	6	8	40	18	1,6	8
20	36	28	28	90	7	9	45	20	2	9
24	45	36	36	112	9	11	56	24	3	11

(De la tabla UNI 2402)

Conicidad 1:20

~(▽)

Tuercas de astas

Ejemplo de designación de una tuerca de astas, que tiene d = 20 mm:

Tuerca 20 UNI 2402

Medidas en mm

Indicaciones para la designación d	Rosca	D	d_1	e	h	m	r
12	12 MA	24	9	105	45	12	7
14	14 MA	28	11	118	51	15	8
16	16 MA	32	13	133	58	18	9
18	18 MA	35	15	149	65	21	10
20	20 MA	38	17	170	73	24	11
24	24 MA	44	21	204	88	30	13
30	30 MA	55	25	255	110	36	15
36	36 MB	65	31	305	130	43	19

(De la tabla UNI 2403)

~(▽)

Tuercas de cáncamo

Ejemplo de designación de una tuerca de cáncamo, que tiene d = 20 mm:

Tuerca 20 UNI 2403

Medidas en mm

Indicaciones para la designación d	D	D_1	d_1	$\underset{\sim}{e}$	e_1	h	m	n	r	r_1	r_2
10	20	16	8	51	40	45	12	22	6	1	8
12	25	20	10	63	48	52	15	27	6	1,5	8
14	28	22	12	73	56	59	18	32	6	2	10
16	28	22	12	73	56	59	18	32	6	2	10
18	36	28	13	82	64	66	21	36	8	2	10
20	36	28	13	82	64	66	21	36	8	2	10
24	45	36	15	100	80	83	27	48	10	4	15
30	56	45	20	127	100	100	34	60	12	5	18

(De la tabla UNI 2732)

Tuercas hexagonales ciegas de cuerpo cilíndrico

Ejemplo de designación de una tuerca ciega de cuerpo cilíndrico, que tiene d = 20 mm:

Tuerca 20 UNI 2732

Medidas en mm

Indicaciones para la designación d	Rosca	a	b	c	D_1	d_1	e	h	h_1	r	s
20	20 MA	8	18	2	32	21	31,2	44	14	1,5	27
24	24 MB	10	22	2	41	25	36,9	54	16	2	32
30	30 MB	12	26	2	46	31	41,6	64	20	2	36
36	36 MB	12	30	3	55	37	53,1	76	24	2	46
42	42 MB	12	35	3	65	43	63,5	88	30	2	55
48	48 MB	13	41	3	78	49	75,0	102	36	2,5	65
56	56 MB	16	48	4	85	57	80,8	116	40	3	70
60	60 MB	18	52	4	90	61	86,5	126	42	4	75
64	64 MB	22	55	4	95	65	92,4	136	45	4	80

(De la tabla UNI 2733)

Tuercas hexagonales ciegas de sombrerete plano

Ejemplo de designación de una tuerca hexagonal ciega de sombrerete plano, que tiene d = 10 mm:

Tuerca 10 UNI 2733

Medidas en mm

Indicaciones para la designación d	Rosca	a	b	D_1	d_1	e ~	h	h_1	r	r_1	s
6	6 MA	2	9	6,5	11,5	10	6	2	1	10	8
8	8 MA	2	3	13	8,5	16,2	13	8	2	1	14
10	10 MA	3	3	16	10,5	19,6	16	10	2	1	17
12	12 MA	3	3	18	12,5	21,9	18	12	3	1	19
14	14 MA	3	4	21	15	25,4	21	14	3	1,25	22
16	16 MA	4	4	23	17	27,7	24	16	3	1,25	24
18	18 MA	4	4	26	19	31,2	26	18	3	1,5	27
20	20 MA	5	4	29	21	34,6	29	20	3	1,5	30
24	24 MA	6	5	35	25	41,6	35	24	4	2	36
30	30 MA	6	5	45	31	53,1	41	30	4	2	46
36	36 MB	7	6	54	37	63,5	49	36	5	2	55
42	42 MB	7	7	64	43	75,0	56	42	6	2	65
45	45 MB	7	7	69	46	80,8	59	45	6	2	70
48	48 MB	7	7	69	49	80,8	62	48	6	2	70
52	52 MB	9	7	74	53	86,5	68	52	6	2	75

(De la tabla UNI 2734)

Tuercas hexagonales ciegas de sombrerete esférico

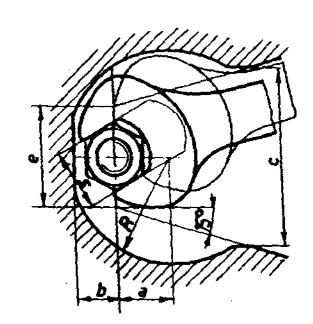
Ejemplo de designación de una tuerca hexagonal ciega de sombrerete esférico que tiene d = 10 mm y rosca serie MA:

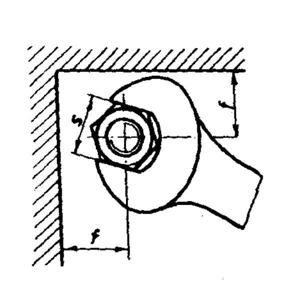
Tuerca 10 MA UNI 2734

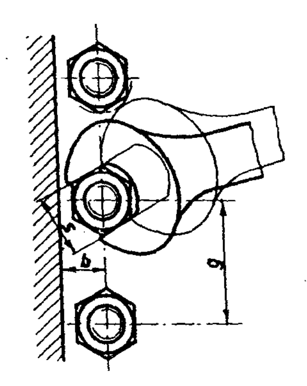
Medidas en mm

Indicaciones para la designación d	Indicaciones para la designación: Serie de rosca		d_1	e	h	h_1	R	s	t para rosca: Serie MB	t para rosca: Serie MA
3	MA	—	5	6,9	6,5	3	2,5	6	4,5	—
4	MA	—	6	8,1	8	4	3	7	6	—
5	MA	—	7	9,2	9,5	5	3,5	8	7	—
6	MA	MB	9	11,5	12	6	4,5	10	8	9
8	MA	MB	13	16,2	16	8	6,5	14	10	11
10	MA	MB	16	19,6	19	10	8	17	12	14
12	MA	MB	18	21,9	22	12	9	19	14	16
14	MA	MB	21	25,4	26	14	10,5	22	17	19
16	MA	MB	23	27,7	29	16	11,5	24	19	21
18	MA	MB	25	31,2	32	18	12,5	27	21	23
20	MA	MB	27	34,6	35	20	13,5	30	23	25

Espacio mínimo para la maniobra de las llaves de boca







Medidas en mm

s	Referencia a las llaves de las tablas UNI	a	R	b	c	e	f	g	s	Referencia a las llaves de las tablas UNI	a	R	b	c	e	f	g
3	303 308 309	3	7,5	4	13	8	5	7,5	46	303-308-309	37	70	29	120	68	44	85
4		3,5	8	4,5	14	9	5,5	8,5		304-310	37,5	70	29	122	68	43	85
5		4,5	10	5	17	11	6,5	10		305	38	73	29	124	72	46	89
6		5	11	5	20	12	7,5	12	50	303-308-309	40	76	31	132	76	47	92
7		6	12,5	6	22	14	8,5	14		304-310	41	76	31	130	76	46,5	93
8		7	14,5	7	25	16	9	15,5		305	40	80	31	134	78	51	98
9		7,5	15,5	7,5	28	18	10	17,5	55	303-308-309	46	85	33	144	83	51	102
10		8,5	17,5	8	32	20	11	19,5		304-310	44	83	34	142	83	51	101
11		9	19	9	34	20	12	21		305	44	87	34	148	86	55	106
12		10,5	21	10	38	23	13	23	60	303-308-309	49	92	36	155	90	56	111
14	303-308-309	12	24	11	42	26	15	26,5		304-310	48	90	36	152	88	55	110
	304-310	14	27	11,5	46	27	16,5	30		305	48	94	37	158	90	60	116
19	303-308-309	16,5	32	14	54	32	20	36	70	304-310	58	105	41	180	100	64	128
	304-310	17,5	33	14,5	57	32	20,5	38		305	55	108	42	182	104	70	134
24	303-308-309	19,5	38,5	17	66	40	24	45	75	304-310	63	114	44	192	108	68	138
	304-310	22	41	16,5	69	39	24,5	47		305	59	116	45	200	119	74	143
27	303-308-309	23	43	18	74	44	27	51	80	304-310	67	121	47	208	115	73	148
	304-310	23,5	45	18	76	43	28	53		305	63	122	47	209	122	78	152
30	303-308-309	24,5	47	20	80	48	29	56	85	304-310	72	129	50	220	122	77	158
	304-310	26	48	20	82	46	30	58		305	68	130	50	220	125	82	162
	305	24	49	20	85	51	32	60	90	304-310	76	142	57	242	135	87	172
36	303-308-309	28	55	24	96	57	35	66		305	74	144	58	240	138	90	176
	304-310	31	58	23	98	56	35	69	95	304-310	78	144	58	245	138	88	176
	305	30	58	24	99	57	37	70		305	76	146	57	244	138	90	180

Tabla indicadora de los tipos unificados de llaves de maniobra

Llaves sencillas, serie ligera UNI 303	Llaves para tornillos con hexágono embutido UNI 2415	Alargamiento por unión cardan para llaves de dolla UNI 3124
Llaves sencillas, serie normal UNI 304	Llaves para tornillos con cuadrado embutido UNI 2416	Llaves de dolla con mango acodado UNI 3126
Llaves sencillas, serie reforzada UNI 305	Llaves de tubo, sencillas UNI 3116 Ídem, tipo ligero UNI 3117	Llaves de dolla con travesaño, hexagonales UNI 3127
Llaves sencillas con trinquete, serie normal UNI 306	Llaves de tubo, dobles UNI 3118 Ídem, tipo ligero UNI 3119	Llaves de dolla con travesaño, cuadradas UNI 3128
Llaves sencillas con trinquete, serie reforzada UNI 307	Llaves de tubo, dobles tipo reforzado UNI 3120	Llaves de dolla, en cruz, hexagonales UNI 3129. Íd.. cuadrad. UNI 3130
Llaves dobles, serie ligera UNI 308	Llaves de tubo, tipo acodado UNI 3121	Llaves de dolla, cuadradas UNI 3131
Llaves dobles, serie ligera supletoria UNI 309. Ídem, serie normal UNI 310	Llaves de dolla, sencillas, hexagonales UNI 3122	Llaves de garra UNI 3132
Llaves especiales para pernos de bridas para tuberías UNI 2213	Alargamientos para llaves de dolla UNI 3123	Llaves de macho con travesaño, cuadradas UNI 3133

Tabla 84

Entrecaras

(De la tabla UNI 946)

Medidas en mm

s	d	e_1	e_2	e_3	e_4	s	d	e_1	e_2	e_3	e_4
3	de 3,5 a 4	4,2	4,1	3,5	—	22	desde 25 hasta 28	31,1	28	25,4	23,8
3,5	desde 4 hasta 4,6	4,9	4,6	4,0	—	24	» 28 » 30,5	33,9	32	27,7	26,0
4	» 4,6 » 5,2	5,7	5,3	4,6	—	27	» 30,5 » 34	38,2	36	31,2	29,2
4,5	» 5,2 » 5,8	6,4	5,9	5,2	—	30	» 34 » 36	42,4	40	34,6	36,5
5	» 5,8 » 6,4	7,1	6,5	5,8	—	32	» 36 » 39	45,3	42	36,9	34,6
5,5	» 6,4 » 7	7,8	7,1	6,4	—	36	» 39 » 44	50,9	48	41,6	39,0
6	» 7 » 8,2	8,5	8	6,9	—	41	» 44 » 50	58,0	54	47,3	44,4
7	» 8,2 » 9,2	9,9	9	8,1	—	46	» 50 » 54	65,1	60	53,1	49,8
8	» 9,2 » 10,5	11,3	10	9,2	—	50	» 54 » 59	70,7	65	57,7	54,1
9	» 10,5 » 11,5	12,7	12	10,4	—	55	» 59 » 65	77,8	72	63,5	59,5
10	» 11,5 » 13	14,1	13	11,5	—	60	» 65 » 70	84,9	80	69,3	64,9
11	» 13 » 14	15,6	14	12,7	—	65	» 70 » 76	91,9	85	75,0	70,4
12	» 14 » 16	17,0	16	13,8	—	70	» 76 » 81	99,0	92	80,8	75,8
14	» 16 » 19,5	19,8	18	16,2	—	75	» 81 » 87	106	98	86,5	81,2
17	» 19,5 » 22	24,0	22	19,6	—	80	» 87 » 92	113	105	92,4	86,6
19	» 22 » 25	26,9	25	21,9	—	85	» 92 » 98	120	112	98	92,0

Esta selección de la tabla UNI 946, se aplica a tuercas, cabezas de tornillos y en general a cualquier parte que se haya de maniobrar con llave.

Los pasadores de aletas están unificados **(UNI 1336 y 1338):** en la tabla 87 se ha reproducido un extracto de dichas tablas.

Para poder emplear los pasadores de aletas, las tuercas han de ser almenadas, y están unificadas, como se ve en la tabla-cuadro general de las tuercas. Se ha reproducido un extracto de una de las tablas de tuercas almenadas.

En lugar de estos pasadores de aletas se pueden emplear también pasadores cónicos o pasadores elásticos, de los que se tratará en el n.° 65.

Entre la tuerca y su superficie de apoyo se interponen muchas veces **arandelas** o **chapas**, de las que existen numerosos tipos, unificados en las tablas **UNI 1729** a **1731** y reproducidos en la tabla 88.

a) *Arandelas y chapas de apoyo:* su única función es dar una superficie de apoyo más extensa y regular a la tuerca, repartiendo la presión sobre una superficie más extensa, especialmente cuando la pieza sobre la que se apoya la tuerca es de material poco resistente.

Estas arandelas y chapas de apoyo pueden sumi-

Cuadro de los tipos unificados de volantes de mano, manivelas y mangos (para usos navales)

(Tabla UNI 2418)

Volante de mano con llanta maciza
(Tipo de acero fundido o de fundición maleable)

(Tabla UNI 2419)

Volante de mano con llanta maciza
(Tipo de fundición de hierro)

(Tabla UNI 2420)

Volante de mano con llanta hueca

(Tabla UNI 2421)

Volante de mano de plancha estampada

(Tabla UNI 2422)

Volante de mano estampado

(Tabla UNI 2423)

Volante de mano de materia plástica

(Tabla UNI 2424)

Manivela

(Tabla UNI 2425)

Mango

Tabla 86 Medidas en mm

Extremos de vástagos para válvulas navales

(De la tabla UNI 2427)

Indicaciones para la designación s	a	a_1	b	d	d_1	Diámetro del volante de mano o longitud de la manivela correspondiente	Longitud del mango correspondiente
6	—	10	10	8	5 MA	50	—
7	10	12	11	9	6 MA	64	80
8	11	12	11	10	6 MA	80	90
9	12	15	11	12	6 MA	100	100
11	13	16	13	14	8 MA	125	110
12	14	17	16	16	10 MA	150	120
14	16	18	19	18	12 MA	175	130
17	19	22	24	22	16 MA	200	140
19	21	24	24	25	16 MA	225	150
22	24	26	28	28	20 MA	250	175
24	26	27	31	32	22 MA	300	200
27	28	32	32	36	22 MA	350	225
30	—	37	38	40	27 MA	425	—
32	32	42	38	42	27 MA	500	250
36	36	46	46	48	33 MA	575	280
41	40	52	53	54	39 MB	650	320
46	44	58	53	60	39 MB	720	360
50	48	—	—	65	—	—	400

Ejemplo de designación de un extremo de vástago para válvulas navales, tipo A (sencillo), que tiene s = 14 mm:

Extremo A 14 UNI 2427

nistrarse en bruto o semimecanizadas o aun mecanizadas, según los tipos (tablas **UNI 1732-1742**).

Como se puede ver en la tabla 88, las hay con agujero circular o cuadrado.

b) *Arandelas y chapas de seguridad:* después del atornillado a fondo de la tuerca, una parte de ellas se dobla hacia arriba, contra la tuerca, impidiendo así que se afloje.

Los tipos unificados de arandelas de seguridad son con pestaña, con solapa, con doble solapa, con solapas en ángulo.



Fig. II, 304. *Arandela elástica.*

c) *Arandelas para pasadores.*

También de estas arandelas están unificados el tipo bruto y el tipo mecanizado.

d) *Arandelas elásticas* (llamadas también *Grower*), construidas de acero, cortadas y conformadas inicialmente como una espira de muelle helicoidal (fig. II, 304), y finalmente, templadas. Después de atornillada a fondo la tuerca producen una reacción elástica que impide el aflojamiento. Hay también arandelas elásticas con dos espiras helicoidales (doble Grower); no están unificadas.

En las tablas que siguen se han reunido todos los elementos más importantes de las arandelas corrientes y elásticas unificadas (tablas 89 y 90).

Ha parecido oportuno dar en las figuras II, 305-309 algunos ejemplos de aplicaciones de arandelas y chapas.

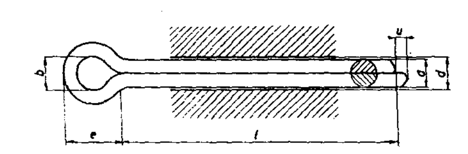
Hay además numerosos tipos de chapas no unificadas, de dientes interiores y exteriores, con muescas de retención, chapas de seguridad con tornillos de sujeción, etcétera.

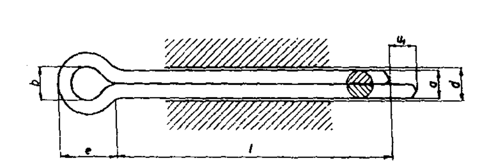
Tabla 87

(De la tabla UNI 1336)

Pasadores de aletas

Medidas en mm





Indicaciones para la designación: Diámetro nominal	Indicaciones para la designación: l	Diámetro real del pasador a	b	e ≃	Extremos para: Tipo A mínimo	Extremos para: Tipo B mínimo	Diámetro del agujero d
0,6	de 4 a 8	$0{,}5_{-0{,}1}^{\ 0}$	1,25	2,1	1	—	0,6
0,8	» 5 » 12	$0{,}7_{-0{,}1}^{\ 0}$	1,4	2,3	1	—	0,8
1	» 5 » 15	$0{,}9_{-0{,}1}^{\ 0}$	1,5	2,5	1	—	1
1,5	» 8 » 30	$1{,}3_{-0{,}1}^{\ 0}$	2	3,3	2	—	1,5
2	» 10 » 40	$1{,}8_{-0{,}1}^{\ 0}$	2,3	4	2	—	2
3	» 15 » 60	$2{,}7_{-0{,}2}^{\ 0}$	3	5	2	6	3
4	» 20 » 70	$3{,}7_{-0{,}2}^{\ 0}$	4,1	7,2	3	8	4
5	» 28 » 80	$4{,}7_{-0{,}2}^{\ 0}$	4,7	8,2	3	8	5
6	» 35 » 90	$5{,}7_{-0{,}2}^{\ 0}$	5,7	10,2	3	10	6
8	» 45 » 140	$7{,}7_{-0{,}2}^{\ 0}$	7,7	13,5	3	10	8
10	» 60 » 170	$9{,}7_{-0{,}2}^{\ 0}$	9,7	17	4	10	10
13	» 100 » 240	$12{,}6_{-0{,}2}^{\ 0}$	12,6	23	4	10	13

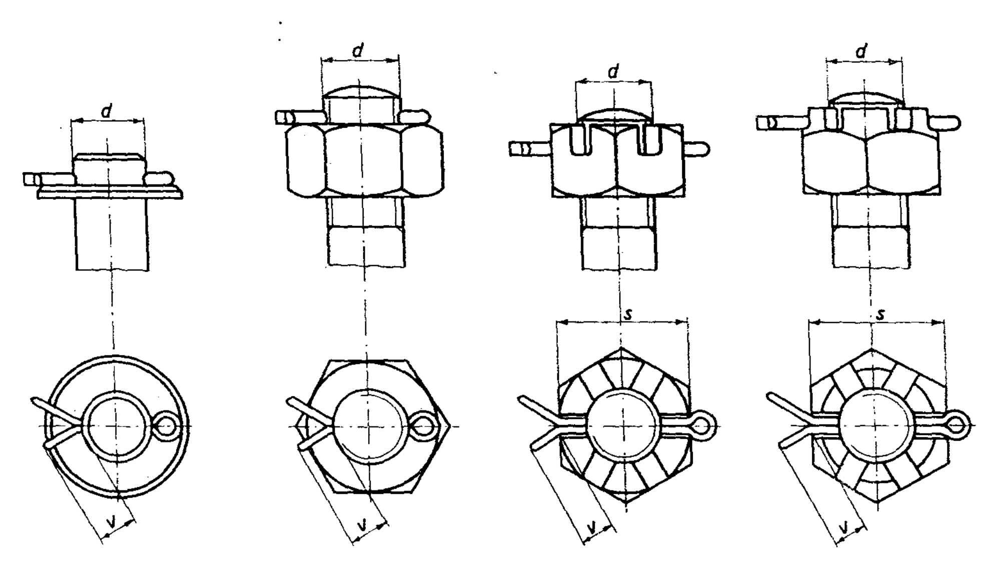
Longitudes unific. : 5; 6; 8; 10; 12; 15; 18; 20; 25; 28; 35; 40; 45; 50; 55; 60; 65; 70; 75; 80; 85; 90; 95; 100; 110; 120; 130; 150.

Ejemplo de designación de un pasador de aletas, tipo A, para agujero de diámetro nominal (diámetro del agujero) d=5 mm que tiene l=30 mm:

A 5 × 30 UNI 1336

(De la tabla UNI 1338)

Aplicaciones de los pasadores de aletas



Medidas en mm

Diámetros a: de los pasadores	Diámetros a: de la rosca para pernos: Métrica	Diámetros a: de la rosca para pernos: Whitworth	Anchuras S de las tuercas almenadas: Brutas	Anchuras S de las tuercas almenadas: Mecanizadas	Diámetros del agujero para el pasador	v mínimo	Longitudes de pasadores de aletas para aplicar a tuercas hexagonales almenadas: Pasadores	Tornillos	Brutos	Mecanizados
4	5	3/16"	9	8	1,5	4	8	10	15	12
5	7	—	—	11	1,5	4	10	12	—	15
6	8	5/16"	14	14	2	6	12	15	20	20
8	10	3/8"	17	17	2	6	15	18	25	25
10	12	1/2"	19	19	3	6	18	18	25	25
12	14	—	22	22	3	6	18	20	28	28
16	20	3/4"	32	30	4	8	25	28	40	40
20	24	—	36	36	5	10	30	35	50	50
25	30	1 1/8"	46	46	6	12	40	45	60	60
28	33	1 1/4"	50	50	6	12	40	45	65	65
32	39	1 1/2"	60	60	8	14	50	55	75	75
36	42	1 5/8"	65	65	8	14	50	60	80	80
40	45	1 3/4"	70	70	8	14	55	60	85	85
50	56	2 1/4"	—	80	10	16	70	75	—	100
56	60	—	—	85	10	16	75	80	—	110

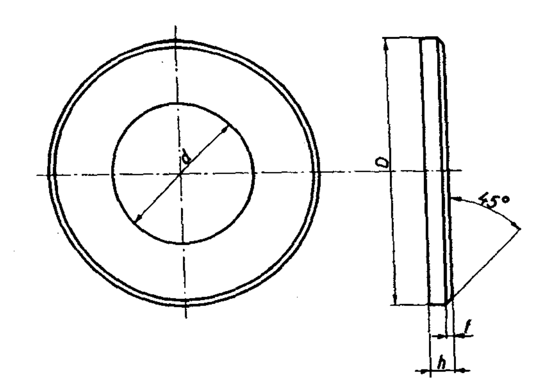
Arandelas y chapas de apoyo			
Representación	Denominación		Tabla UNI
	Arandelas para tornillos de cabeza hexagonal y para tuercas hexagonales (para apoyo sobre materiales duros)	brutas	1732
		semi-mecanizadas	1733
		mecanizadas	1734
	Arandelas para tornillos de cabeza ranurada	semi-mecanizadas	1736
	Arandelas con agujero circular (para apoyo sobre materiales blandos)	brutas	1737
	Arandelas con agujero cuadrado (para apoyo sobre materiales blandos)	brutas	1738
	Arandelas para remaches	semi-mecanizadas	1739
	Chapas (para apoyo sobre materiales blandos)	brutas	1740
	Chapas de apoyo sobre cabezas de perfiles en doble T	brutas	1741
	Chapas de apoyo sobre lados de perfiles en U	brutas	1742

Arandelas y chapas de seguridad		
Representación	Denominación	Tabla UNI
	Arandelas de seguridad con pestaña	1743
	Arandelas de seguridad con solapa	1745
	Arandelas de seguridad con doble solapa	1746
	Arandelas de seguridad con doble solapa en ángulo	1747
	Chapas de seguridad	1748

Arandelas para pasadores			
Representación	Denominación		Tabla UNI
	Arandelas para pasadores	brutas	1749
		mecanizadas	1750

Arandelas elásticas		
Representación	Denominación	Tabla UNI
	Arandelas elásticas	1751

Tabla 89



(De la tabla UNI 1734)

Arandelas para tornillos de cabeza hexagonal y para tuercas hexagonales mecanizadas

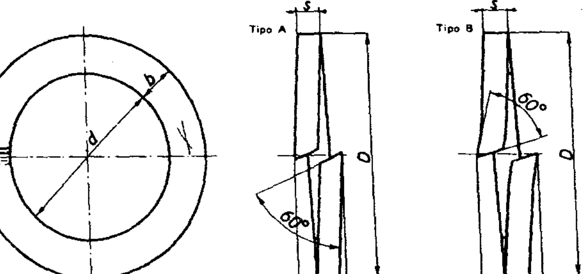
Ejemplo de designación de una arandela para tornillo de cabeza hexagonal y para tuerca hexagonal, mecanizada, que tiene d = 10,5 mm:

Arandela 10,5 UNI 1734

Indicaciones para la designación	d mm	D mm	h mm	f mm	Para tornillos y tuercas con diámetro de rosca		
					Métrica mm	Whitworth	
						pulgadas	mm
4,3	4,3 ∓ 0,1	9 ± 0,2	0,8	0,3	4	—	—
5,3	5,3 ∓ 0,1	11 ± 0,2	1	0,4	5	—	—
6,4	6,4 ∓ 0,15	13 ± 0,3	1,5	0,4	6	—	—
6,7	6,7 ∓ 0,15	13 ± 0,3	1,5	0,4	—	1/4	6,35
8,4	8,4 ∓ 0,15	18 ± 0,4	2	0,5	8	5/16	7,94
10	10 ∓ 0,2	22 ± 0,4	2,5	0,5	—	3/8	9,52
10,5	10,5 ∓ 0,2	22 ± 0,4	2,5	0,5	10	—	—
13	13 ∓ 0,25	24 ± 0,5	3	0,5	12	—	—
13,5	13,5 ∓ 0,25	24 ± 0,5	3	0,5	—	1/2	12,7
15	15 ∓ 0,25	28 ± 0,5	3	0,5	14	—	—
17	17 ∓ 0,25	30 ± 0,5	3	0,5	16	5/8	15,88
19	19 ∓ 0,25	35 ± 0,5	4	1	18	—	—
20	20 ∓ 0,25	38 ± 0,5	4	1	—	3/4	19,05
21	21 ∓ 0,25	38 ± 0,5	4	1	20	—	—
25	25 ∓ 0,25	45 ± 0,5	4	1	24	—	—
26	26 ∓ 0,3	52 ± 0,6	5	1	—	1	25,4
30	30 ∓ 0,3	58 ± 0,6	5	1	—	1 1/8	28,58
31	31 ∓ 0,3	58 ± 0,6	5	1	30	—	—
33	33 ∓ 0,3	62 ± 0,6	5	1	—	1 1/4	31,75
36	36 ∓ 0,3	68 ± 0,6	6	1,5	—	1 3/8	34,92
37	37 ∓ 0,3	68 ± 0,6	6	1,5	36	—	—
43	43 ∓ 0,4	80 ± 0,8	7	1,5	42	1 5/8	41,28
50	50 ∓ 0,4	85 ± 0,8	8	1,5	48	1 7/8	47,62
53	53 ∓ 0,4	92 ± 0,8	8	1,5	—	2	50,8
58	58 ∓ 0,4	98 ± 0,8	9	1,5	56	—	—

(De la tabla UNI 1751)

Arandelas elásticas



Ejemplo de designación de una arandela elástica, tipo A, que tiene d = 21 mm:

Arandela A 21 UNI 1751

Indicaciones para la designación	d mm	b mm	s mm	D mm	h mm	Para tornillos con diámetro de rosca		
						Métrica mm	Whitworth pulgadas	Whitworth mm
2,2	$2,2^{-0,1}_{+0,2}$	0,9 ± 0,1	0,5 ± 0,1	4	1 ± 0,15	2	—	—
2,8	$2,8^{-0,1}_{+0,2}$	1 ± 0,1	0,6 ± 0,1	4,8	1,2 ± 0,2	2,6	—	—
3,2	$3,2^{-0,1}_{+0,2}$	1,3 ± 0,1	0,8 ± 0 1	5,8	1,6 ± 0,25	3	—	—
4,3	$4,3^{-0,1}_{+0,2}$	1,5 ± 0,1	0,9 ± 0,1	7,3	1,8 ± 0,3	4	—	—
5,3	$5,3^{-0,1}_{+0,2}$	1,8 ± 0,1	1,2 ± 0,1	8,9	2,4 ± 0,35	5	—	—
6,4	$6,4^{-0,1}_{+0,3}$	2,5 ± 0,15	1,6 ± 0,1	11,4	3,2 ± 0,5	6	—	—
6,7	$6,7^{-0,1}_{+0,3}$	2,5 ± 0,15	1,6 ± 0,1	11,7	3,2 ± 0,5	—	1/4	6,35
8,4	$8,4^{-0,1}_{+0,3}$	3 ± 0,15	2 ± 0,1	14,4	4 ± 0,6	8	5/16	7,94
10	$10^{-0,2}_{+0,3}$	3,5 ± 0,2	2,2 ± 0,15	17	4,4 ± 0,65	—	3/8	9,52
10,5	$10,5^{-0,2}_{+0,3}$	3,5 ± 0,2	2,2 ± 0,15	17,5	4,4 ± 0,65	10	—	—
13	$13^{-0,5}_{+0,3}$	4 ± 0,2	2,5 ± 0,15	21	5 ± 0,75	12	—	—
13,5	$13,5^{-0,5}_{+0,3}$	4 ± 0,2	2,5 ± 0,15	21,5	5 ± 0,75	—	1/2	12,7
15	$15^{-0,5}_{+0,3}$	4,5 ± 0,2	3 ± 0,15	24	6 ± 0,9	14	—	—
17	$17^{-0,5}_{+0,3}$	5 ± 0,2	3,5 ± 0,2	27	7 ± 1,05	16	5/8	15,88
19	$19^{-0,5}_{+0,5}$	5 ± 0,2	3,5 ± 0,2	29	7 ± 1,05	18	—	—
20	$20^{-0,5}_{+0,5}$	6 ± 0,2	4 ± 0,2	32	8 ± 1,2	—	3/4	19,05
21	$21^{-0,5}_{+0,5}$	6 ± 0,2	4 ± 0,2	33	8 ± 1,2	20	—	—
25	$25^{-0,5}_{+0,5}$	7 ± 0,25	5 ± 0,2	39	10 ± 1,5	24	—	—
26,5	$26,5^{-0,5}_{+0,5}$	7 ± 0,25	5 ± 0,2	40,5	10 ± 1,5	—	1	25,4
30	$30^{-0,5}_{+0,8}$	8 ± 0,25	6 ± 0,2	46	12 ± 1,8	—	1 1/8	28,58
31	$31^{-0,5}_{+0,8}$	8 ± 0,25	6 ± 0,2	47	12 ± 1,8	30	—	—
33	$33^{-0,5}_{+0,8}$	10 ± 0,25	6 ± 0,2	53	12 ± 1,8	—	1 1/4	31,75
36	$36^{-0,5}_{+0,8}$	10 ± 0,25	6 ± 0,2	56	12 ± 1,8	—	1 3/8	34,92
37	$37^{-0,5}_{+0,8}$	10 ± 0,25	6 ± 0,2	57	12 ± 1,8	36	—	—
43	$43^{-0,5}_{+0,8}$	12 ± 0,25	7 ± 0,25	67	14 ± 2,1	42	1 5/8	41,28
50	$50^{-0,7}_{+0,8}$	12 ± 0,25	7 ± 0,25	74	14 ± 2,1	48	1 7/8	47,62

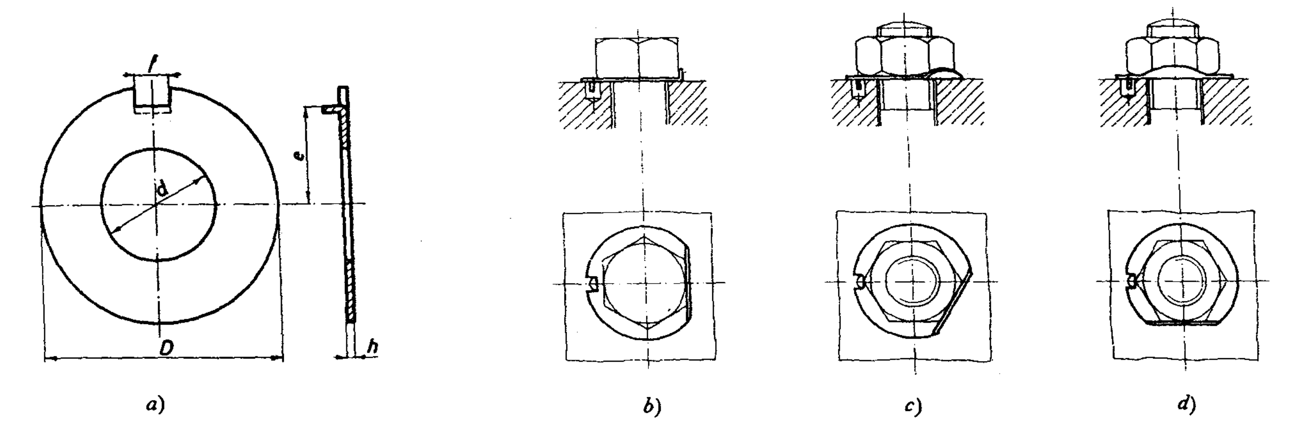


Fig. II, 305. *Arandela de seguridad con pestaña y sus aplicaciones.*

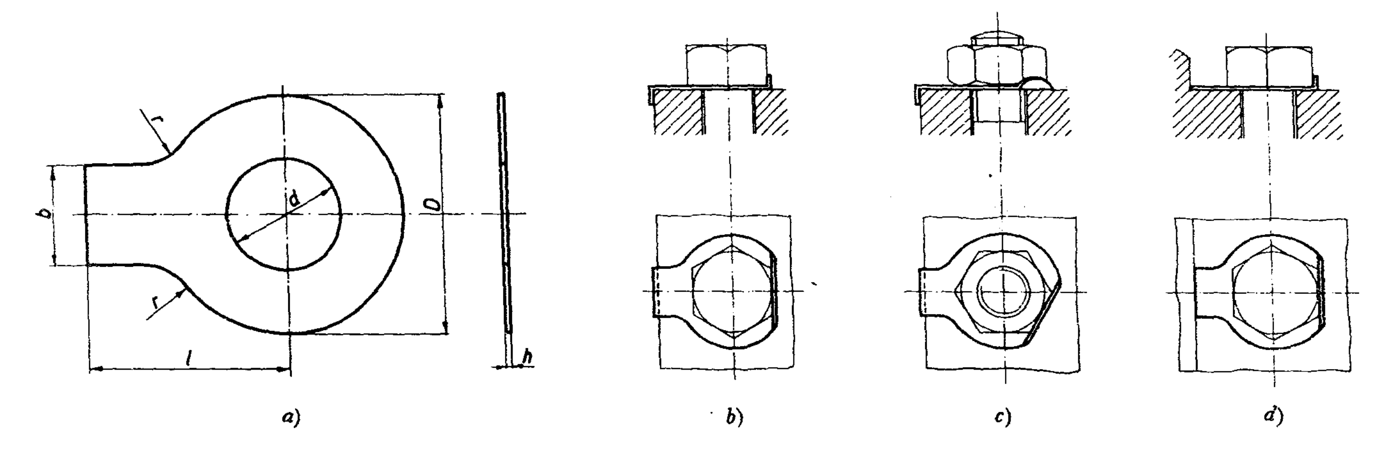


Fig. II, 306. *Arandela de seguridad con solapa y sus aplicaciones.*

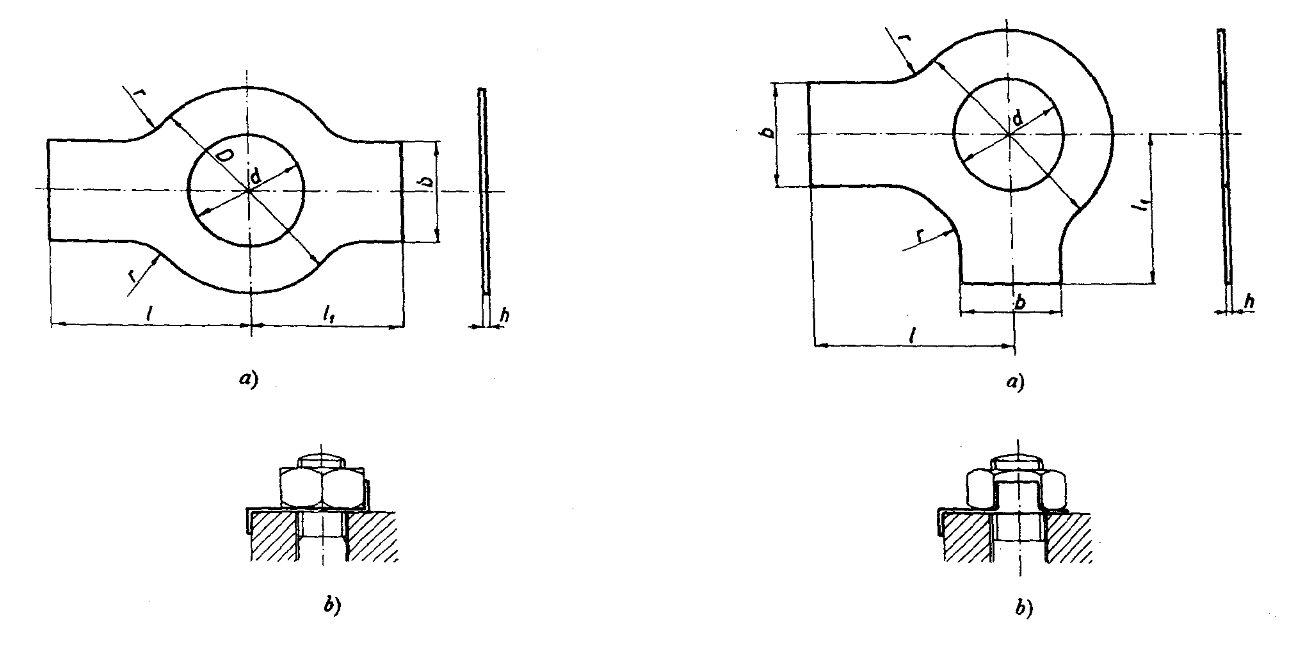
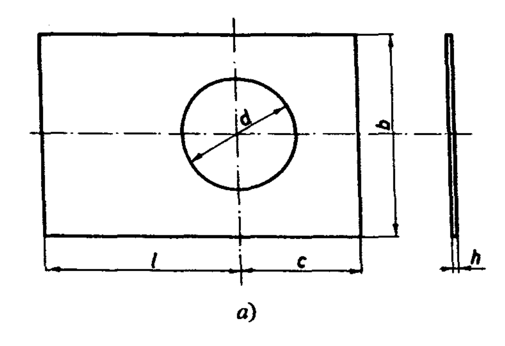


Fig. II, 307. *Arandela de seguridad con doble solapa y su aplicación.*

Fig. II, 308. *Arandela de seguridad con solapas en ángulo y su aplicación.*



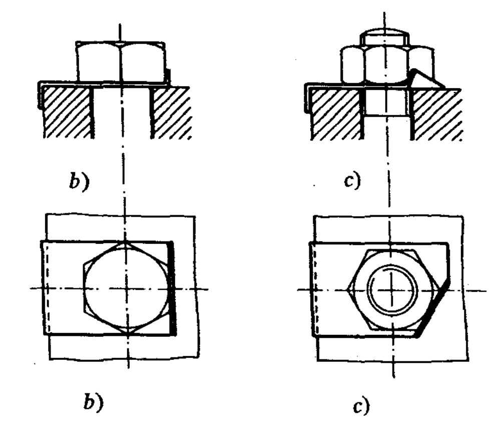


Fig. II, 309. *Chapa de seguridad y sus aplicaciones.*

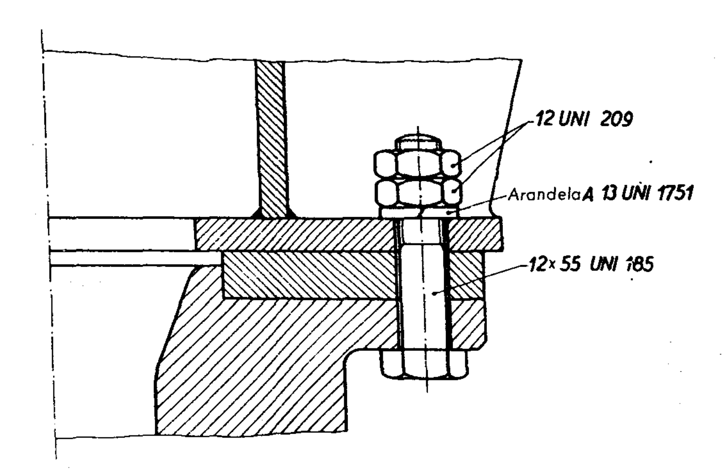


Fig. II, 310. *Aplicación de arandela elástica con tuerca y contratuerca.*

Capítulo IX

ÁRBOLES Y EJES UNIONES DESMONTABLES ENTRE ÁRBOLES Y CUBOS UNIONES PARA ÁRBOLES

62. Generalidades sobre los pares giratorios

El movimiento circular es ciertamente el movimiento que se presenta con más frecuencia en la parte móvil de un mecanismo. Se produce siempre mediante un **par giratorio**, entendiéndose con esta denominación el par formado por un **árbol** *(o gorrón)* que gira en su propio asiento *(cojinete)* que se considera fijo (por ejemplo, un árbol motor), o bien un *eje* fijo, sobre el que gira el otro elemento del par (p. ej., una polea loca).

Definimos pues el **árbol** como el órgano giratorio de una máquina o mecanismo de cualquier clase, que cumple la función de recibir o transmitir un par motor, mediante los órganos montados sobre dicho árbol.

Damos en cambio el nombre de **eje** al elemento que tiene la simple función de proporcionar el eje de rotación a uno o más órganos distintos no calados sobre el mismo eje, sino solamente montados sobre el mismo. El eje es un órgano característico de los automóviles, en los que constituye el eje de rotación de las ruedas. Si se trata de ruedas motrices, el eje tiene además la función de proporcionar soporte y alojamiento a los mecanismos que forman la última parte de la transmisión.

Tanto el caso de un árbol como el de un eje pueden, para algunas consideraciones generales iniciales, tratarse conjuntamente bajo la denominación de *par giratorio*, en cuanto se trata simplemente de un par cinemático, en el cual uno de los elementos tiene un movimiento de rotación y de deslizamiento relativo sobre el otro. Por lo mismo aparece en la superficie de contacto una resistencia de rozamiento, debida no ya a una sola fuerza, como ocurre en el caso del movimiento sencillo de traslación (deslizamiento) de un cuerpo sobre una superficie plana, sino a un par resistente, que se opone a la rotación de la parte móvil y que se denomina *rozamiento en los gorrones.*

Para disminuir tal rozamiento, se interpone generalmente entre las superficies en contacto una lámina de lubricante que evita el contacto directo entre las dos superficies en movimiento relativo, creando así, en lugar del rozamiento directo, el llamado **rozamiento viscoso,** mucho menor que el rozamiento directo.

Los experimentos de varios autores concuerdan en considerar el rozamiento viscoso de los ejes dependiente no sólo de la naturaleza de los materiales y de las condiciones de las superficies de contacto, sino también de la velocidad relativa v de los dos elementos y de la presión específica p que se transmiten ambos elementos.

Considerando que no es aquí necesario profundizar en la naturaleza del fenómeno de rozamiento viscoso en los pares giratorios, nos limitaremos a señalar que se caracteriza por el producto pv, el cual toma valores diferentes cuando se usa la lubricación natural o la forzada.

Expuesto todo esto, pasemos al estudio de los árboles, desde el punto de vista del dibujo mecánico.

63. Árboles

Se sabe por la mecánica que todo árbol ha de tener la sección suficiente para resistir los esfuerzos de torsión o de flexión y torsión que resultan de la potencia aplicada a dicho árbol *(momento de torsión)* y de las cargas eventuales que tienden a doblarlo *(momento de flexión).*

El árbol recibe el movimiento de rotación directamente o indirectamente de un motor y generalmente transmite su movimiento a otro órgano (rueda, polea, manivela, etc.), montado sobre el mismo. De aquí la necesidad de los adecuados **acoplamientos** entre el árbol y estos órganos que le dan o reciben su movimiento.

Dos árboles pueden estar acoplados directamente entre sí, o siendo uno prolongación del otro, o formando entre ellos un ángulo; en este caso es necesaria una junta o **acoplamiento articulado,** que responda a las exigencias de la unión.

Todos los árboles están sostenidos por adecuados **soportes,** sencillos, de cojinetes o de rodamientos, cuyo estudio se desarrollará en el capítulo X.

A los árboles de pequeñas dimensiones, destinados a transmitir esfuerzos moderados o a cumplir funciones especiales, se les da generalmente el nombre de **pasadores portantes,** o gorrones.

En cambio se llaman **bulones** las piezas de acero cilíndricas, macizas o huecas, empleadas para efectuar acoplamientos articulados, como, por ejemplo, el acoplamiento de pistón y biela en los motores de explosión, etcétera.

Después de estas consideraciones, se puede pasar, en sucesión lógica de temas, al estudio de los árboles, pasadores, acoplamientos entre árboles y órganos montados en los mismos, uniones y embragues.

Las medidas de los árboles se calculan por torsión o por torsión y flexión (flexo-torsión).

La representación de los árboles en los dibujos no ofrece nada de particular, siendo suficiente tener presente que sólo se dibujan *cortados en las secciones transversales.*

Los árboles de transmisión, sometidos a esfuerzos normales, se construyen de acero al carbono del tipo A y Aq. Generalmente se emplean barras calibradas, para ahorrar mecanizado. Las barras calibradas tienen generalmente una tolerancia en el diámetro que corresponde a ISA h 11. Únicamente tratándose de árboles sometidos a esfuerzos considerables o para los que se limiten el diámetro o el peso, se recurre a materiales de más resistencia y mayor coste, tales como aceros al níquel o el níquel-cromo, como sucede, por ejemplo, en la construcción de máquinas herramientas de calidad, etcétera.

Un árbol, sostenido simplemente por sus soportes, tiende a moverse en dirección de su eje, si, aparte de las fuerzas radiales o tangenciales, está sometido además a fuerzas axiales.

En tal caso, para evitar este inconveniente, el árbol, ya sea en uno de sus extremos, o bien en un punto intermedio, en el que esté sostenido por un soporte, presenta uno o dos **resaltos,** entendiéndose con esta denominación un rebajo, convenientemente redondeado, que se apoya en la superficie lateral del cojinete (fig. II, 311 *a*).

A propósito de esto se ha de notar inmediatamente que el radio de acuerdo del resalto con la parte rebajada del árbol ha de ser menor que el radio del redondeado del cojinete; solamente así, en efecto, se puede obtener el apoyo regular del resalto sobre la superficie terminal del cojinete (fig. II, 311 *b*).

Hay una unificación de estos redondeados solamente para el montaje de cojinetes de rodamiento, como se verá más adelante.

Cuando los resaltos resultan insuficientes, se les puede aumentar el tamaño a la medida necesaria, mediante anillos convenientemente montados en el árbol y apoyados contra el resalto insuficiente.

En los árboles corrientes de transmisión, no hay en general resaltos y los corrimientos longitudinales de los árboles se pueden evitar, si es necesario, mediante manguitos adecuados.

Los pasadores de sustentación pueden tener también los resaltos necesarios.

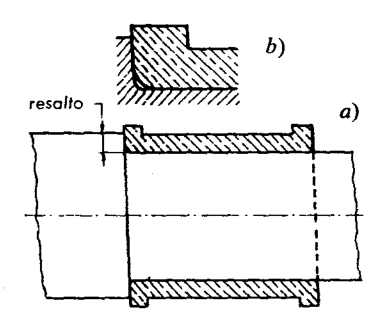
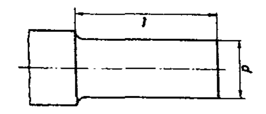
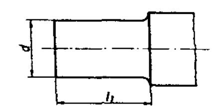


Fig. II, 311. *Resaltos de los árboles:* a) *árbol con un resalto;* b) *detalle de los redondeados del resalto y del cojinete.*

Extremos de árboles cilíndricos, normales y cortos (De la tabla UNI 3017)

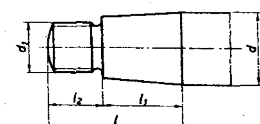




d	l	d	l	d	l	d	l	d	l
6	16	35		85		220	350	360	
8	20	36	80	90	170	230		370	700
10	23	38		95		240		380	
12	30	40		100		250	440	390	
14		42		110	210	260		400	
16	40	45		120		270		420	
18		48	110	125		280		440	
19		50		130	250	290		450	860
20	50	55		140		300		460	
22		56		150		310	560	480	
24		60		160		315		500	
25	60	63		170	300	320		530	
28		65	140	180		330		550	
30		70		190		340		560	1000
32	80	75		200	350	350	700	600	
24		80	170	210		355		630	

d	l_1	d	l_1
240		380	550
250	410	390	
260		400	
270		420	
280		440	
290		450	650
300		460	
310	470	480	
315		500	
320		530	
330		550	
340		560	800
350		600	
355	550	630	
360		650	
370			

Extremos de árboles cónicos, normales



(De la tabla UNI 3018)

Medidas en mm

d	d_1	l	l_1	l_2	d	d_1	l	l_1	l_2
6	4 MA	12	6	6	42	27 MB	70	42	28
8	6 MA	16	8	8	45	27 MB	73	45	28
10	6 MA	18	10	8	48	33 MB	76	48	28
12	8 MA	24	12	12	50	33 MB	78	50	28
14	10 MA	26	14	12	55	33 MB	83	55	28
16	10 MA	28	16	12	56	33 MB	84	56	28
18	10 MB	30	18	12	60	42 MC	95	60	35
19	12 MB	33	19	14	63	42 MC	98	63	35
20	12 MB	34	20	14	65	42 MC	100	65	35
22	12 MB	36	22	14	70	48 MC	105	70	35
24	16 MB	42	24	18	75	48 MC	110	75	35
25	16 MB	43	25	18	80	60 MD	120	80	40
28	16 MB	46	28	18	85	60 MD	125	85	40
30	20 MB	52	30	22	90	60 MD	130	90	40
32	20 MB	54	32	22	95	60 MD	135	95	40
35	22 MB	57	35	22	100	76 MD	145	100	45
36	22 MB	58	36	22	110	80 MD	155	110	45
38	22 MB	60	38	22	120	80 MD	165	120	45
40	27 MB	68	40	28	125	80 MD	175	125	50

Extremos de árboles cónicos, largos

(De la tabla UNI 3019)

Medidas en mm

d	d_1	l	l_1	l_2	d	d_1	l	l_1	l_2
6	4 MA	16	10	6	42	27 MB	110	82	28
8	6 MA	20	12	8	45	27 MB	110	82	28
10	6 MA	23	15	8	48	33 MB	110	82	28
12	8 MA	30	18	12	50	33 MB	110	82	28
14	10 MA	30	18	12	55	33 MB	110	82	28
16	10 MA	40	28	12	56	33 MB	110	82	28
18	10 MA	40	28	12	60	42 MC	140	105	35
19	12 MB	50	36	14	63	42 MC	140	105	35
20	12 MB	50	36	14	65	42 MC	140	105	35
22	12 MB	50	36	14	70	48 MC	140	105	35
24	16 MB	60	42	18	75	48 MC	140	105	35
25	16 MB	60	42	18	80	60 MD	170	130	40
28	16 MB	60	42	18	85	60 MD	170	130	40
30	20 MB	80	58	22	90	60 MD	170	130	40
32	20 MB	80	58	22	95	60 MD	170	130	40
35	22 MB	80	58	22	100	76 MD	210	165	45
36	22 MB	80	58	22	110	80 MD	210	165	45
38	22 MB	80	58	22	120	80 MD	210	165	45
40	27 MB	110	82	28	125	80 MD	250	200	50

Chavetas y lengüetas

Tabla 92

Tipo		Representación	Croquis y denominación	Tablas UNIM
CHAVETAS DE UNIÓN	Chavetas encajadas		Chavetas rectas	Medidas y aplicaciones: UNIM 84
			Chavetas engastadas	Medidas y aplicaciones: UNIM 85
			Chavetas con cabeza	Medidas y aplicaciones: UNIM 86
	Chavetas rebajadas		Chavetas rebajadas	Medidas y aplicaciones: UNIM 87
			Chavetas rebajadas con cabeza	Medidas y Aplicaciones: UNIM 88
	Chavetas media caña		Chavetas media caña	Medidas y aplicaciones: UNIM 89
			Chavetas media caña con cabeza	Medidas y aplicaciones: UNIM 90
Chavetas tangenciales			Chavetas tangenciales	Medidas y aplicaciones: UNIM. 101, 102

Tipo		Representación	Croquis y denominación	Tablas UNIM
LENGÜETAS	Lengüetas sin taladrar		Lengüetas rectas	Medidas UNIM 91 Aplicaciones: UNIM 95, 96, 97
			Lengüetas engastadas	Medidas UNIM 92 Aplicaciones: UNIM 95, 96, 97, 98
	Lengüetas taladradas		Lengüetas rectas taladradas	Medidas UNIM 93 Aplicaciones: UNIM 95, 96, 97
			Lengüetas engastadas taladradas	Medidas UNIM 94 Aplicaciones: UNIM 95, 96, 97
	Lengüetas redondas		Lengüetas redondas	Medidas UNIM 99 Aplicaciones: UNIM 100

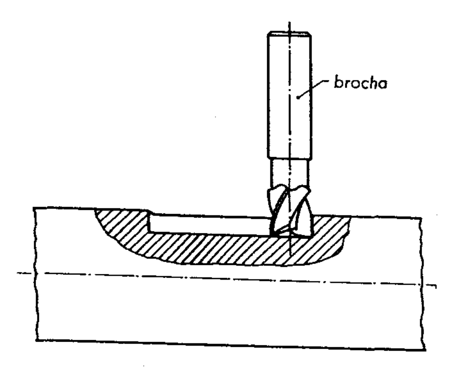


Fig. II, 314. *La ranura del chavetero para chavetas engastadas se practica por medio de brochas.*

presentar los diferentes tipos de chavetas, se ha de tener presente que:

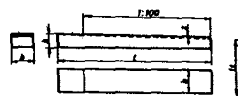
a) *Las chavetas con cabeza,* debido a su parte saliente, pueden fácilmente causar accidentes o bien directa o indirectamente tirando de alguna parte de los vestidos de los obreros (mangas, faldas, etcétera).

b) *Las chavetas engastadas* dan lugar a una deformación asimétrica del cubo respecto al eje de rotación; a veces esta deformación, aunque pequeña, no es admisible.

c) *Las chavetas rebajadas y media caña* pueden transmitir esfuerzos mucho menores que los otros tipos, a igualdad de medidas del árbol.

En las tablas 93 y 94 se han reunido los datos más importantes sobre los tipos de chavetas considerados.

Tabla 93

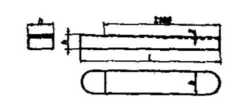
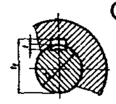



Chavetas rectas
(De la tabla UNIM 84)

Medidas en mm

Ejemplo de designación de una chaveta recta, de sección 24 x 14 y de longitud 140 mm: **24 x 14 x 140 UNIM 84.**

Árbol. Grupos de diámetros D	Chavetas				Chaveteros	
	b	h	z	l	t	t_1
de 10 a 12	4	4	0,3	de 10 a 30	2,5	D + 1,5
desde 12 » 17	5	5	0,3	» 10 » 40	3	D + 2
» 17 » 22	6	6	0,3	» 12 » 50	3,5	D + 2,5
» 22 » 30	8	7	0,3	» 20 » 70	4	D + 3
» 30 » 38	10	8	0,3	» 25 » 90	4,5	D + 3,5
» 38 » 44	12	8	0,3	» 30 » 120	4,5	D + 3,5
» 44 » 50	14	9	0,4	» 35 » 140	5	D + 4
» 50 » 58	16	10	0,4	» 45 » 180	5	D + 5
» 58 » 68	18	11	0,4	» 50 » 200	6	D + 5
» 68 » 78	20	12	0,4	» 60 » 220	6	D + 6
» 78 » 92	24	14	0,4	» 70 » 280	7	D + 7
» 92 » 110	28	16	0,5	» 80 » 300	8	D + 8
» 110 » 130	32	18	0,5	» 90 » 350	9	D + 9
» 130 » 150	36	20	0,5	» 100 » 400	10	D + 10

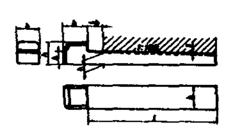
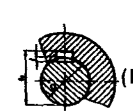



Chavetas engastadas
(De la tabla UNIM 85)

Medidas en mm

Ejemplo de designación de una chaveta engastada, de sección 24 x 14 y de longitud 140 mm: **24 x 14 x 140 UNIM 85.**

Árbol. Grupos de diámetros D	Chavetas				Chaveteros	
	b	h	z	l	t	t_1
de 10 a 12	4	4	0,3	de 10 a 30	2,5	D + 1,5
desde 12 » 17	5	5	0,3	» 10 » 40	3	D + 2
» 17 » 22	6	6	0,3	» 12 » 50	3,5	D + 2,5
» 22 » 30	8	7	0,3	» 20 » 70	4	D + 3
» 30 » 38	10	8	0,3	» 25 » 90	4,5	D + 3,5
» 38 » 44	12	8	0,3	» 30 » 120	4,5	D + 3,5
» 44 » 50	14	9	0,4	» 35 » 140	5	D + 4
» 50 » 58	16	10	0,4	» 45 » 180	5	D + 5
» 58 » 68	18	11	0,4	» 50 » 200	6	D + 5
» 68 » 78	20	12	0,4	» 60 » 220	6	D + 6
» 78 » 92	24	14	0,4	» 70 » 280	7	D + 7
» 92 » 110	28	16	0,5	» 80 » 300	8	D + 8
» 110 » 130	32	18	0,5	» 90 » 350	9	D + 9
» 130 » 150	36	20	0,5	» 100 » 400	10	D + 10

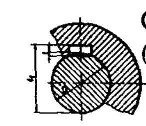



Chavetas con cabeza
(De la tabla UNIM 86)

Medidas en mm

Ejemplo de designación de una chaveta con cabeza, de sección 24 X 14 y de longitud 180 mm: **24 X 14 X 180 UNIM 86.**

Árbol. Grupos de diámetros D	Chavetas					Chaveteros	
	b	h	z	h_1	l	t	t_1
de 10 a 12	4	4	0,3	7	de 15 a 35	2,5	D + 1,5
desde 12 » 17	5	5	0,3	8	» 15 » 45	3	D + 2
» 17 » 22	6	6	0,3	9	» 20 » 60	3,5	D + 2,5
» 22 » 30	8	7	0,3	10	» 25 » 80	4	D + 3
» 30 » 38	10	8	0,3	12	» 35 » 100	4,5	D + 3,5
» 38 » 44	12	8	0,3	12	» 40 » 120	4,5	D + 3,5
» 44 » 50	14	9	0,4	13	» 45 » 160	5	D + 4
» 50 » 58	16	10	0,4	15	» 50 » 200	5	D + 5
» 58 » 68	18	11	0,4	17	» 60 » 220	6	D + 5
» 68 » 78	20	12	0,4	19	» 70 » 250	6	D + 6
» 78 » 92	24	14	0,4	22	» 80 » 280	7	D + 7
» 92 » 110	28	16	0,5	25	» 90 » 300	8	D + 8
» 110 » 130	32	18	0,5	28	» 100 » 350	9	D + 9
» 130 » 150	36	20	0,5	32	» 120 » 450	10	D + 10

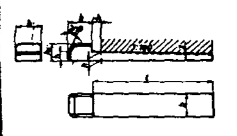


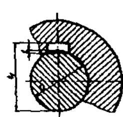
Chavetas rebajadas
(De la tabla UNIM 87)

Medidas en mm

Ejemplo de designación de una chaveta rebajada, de sección 24 x 9 y de longitud 140 mm. **24 x 9 x 140 UNIM 87.**

Árbol. Grupos de diámetros D	Chavetas				Chaveteros	
	b	h	z	l	t	t_1
desde 22 a 30	8	4	0,3	de 20 a 70	1	D + 3
» 30 » 38	10	5	0,3	» 25 » 90	1,5	D + 3,5
» 38 » 44	12	5	0,3	» 30 » 120	1,5	D + 3,5
» 44 » 50	14	5,5	0,4	» 35 » 140	1,5	D + 4
» 50 » 58	16	6,5	0,4	» 45 » 180	1,5	D + 5
» 58 » 68	18	7	0,4	» 50 » 200	2	D + 5
» 68 » 78	20	8	0,4	» 60 » 220	2	D + 6
» 78 » 92	24	9	0,4	» 70 » 280	2	D + 7
» 92 » 110	28	11	0,5	» 80 » 300	3	D + 8
» 110 » 130	32	12	0,5	» 90 » 350	3	D + 9
» 130 » 150	36	13	0,5	» 100 » 400	3	D + 10
» 150 » 170	40	14	0,5	» 120 » 400	3	D + 11
» 170 » 200	45	16	0,5	» 160 » 400	4	D + 12
» 200 » 230	50	18	0,5	» 180 » 400	4	D + 14





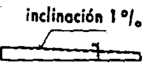
Chavetas rebajadas con cabeza

(De la tabla UNIM 88)

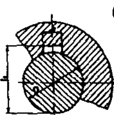
Medidas en mm

Ejemplo de designación de una chaveta rebajada con cabeza, de sección 24 X 9 mm y longitud 180 mm: **24 X 9 X 180 UNIM 88.**

Árbol. Grupos de diámetros D	Chavetas h	h	z	h_1	l	Chaveteros t	t_1
desde 22 a 30	8	4	0,3	7	de 25 a 80	1	D + 3
» 30 » 38	10	5	0,3	9	» 35 » 100	1,5	D + 3,5
» 38 » 44	12	5	0,3	9	» 40 » 120	1,5	D + 3,5
» 44 » 50	14	5,5	0,4	9	» 45 » 140	1,5	D + 4
» 50 » 58	16	6,5	0,4	11	» 50 » 200	1,5	D + 5
» 58 » 68	18	7	0,4	13	» 60 » 220	2	D + 5
» 68 » 78	20	8	0,4	15	» 70 » 250	2	D + 6
» 78 » 92	24	9	0,4	17	» 80 » 280	2	D + 7
» 92 » 110	28	11	0,5	19	» 90 » 300	3	D + 8
» 110 » 130	32	12	0,5	21	» 100 » 350	3	D + 9
» 130 » 150	36	13	0,5	25	» 120 » 450	3	D + 10







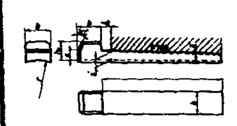
Chavetas media caña

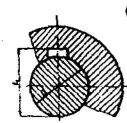
(De la tabla UNIM 89)

Medidas en mm

Ejemplo de designación de una chaveta media caña, que tiene b = 24 mm, s = 7 mm y l = 140 mm: **Chaveta 24 × 7 × 140 UNIM 89.**

Indicaciones para la designación b	s	l	z	r	t_1	Árboles correspondientes D
8	3	de 20 a 70	0,3	11	D + 3	desde 22 a 30
10	3,5	» 25 » 90	0,3	15	D + 3,5	» 30 » 38
12	3,5	» 30 » 120	0,3	19	D + 3,5	» 38 » 44
14	4	» 35 » 140	0.4	22	D + 4	» 44 » 50
16	5	» 45 » 180	0,4	25	D + 5	» 50 » 58
18	5	» 50 » 200	0,4	29	D + 5	» 58 » 68
20	6	» 60 » 220	0,4	34	D + 6	» 68 » 78
24	7	» 70 » 280	0,4	39	D + 7	» 78 » 92
28	8	» 80 » 300	0,5	46	D + 8	» 92 » 110
32	9	» 90 » 350	0,5	55	D + 9	» 110 » 130
36	10	» 100 » 400	0,5	65	D + 10	» 130 » 150





Chavetas media caña con cabeza

(De la tabla UNIM 90)

Medidas en mm

Ejemplo de designación de una chaveta media caña con cabeza, de sección 24 X 7 mm y longitud 180 mm: **24 X 7 X 180 UNIM 90.**

Árbol. Grupos de diámetros D	Chavetas b	s	z	r	h	a	l	Chaveteros t_1
desde 22 a 30	8	3	0,3	11	6	4	de 25 a 80	D + 3
» 30 » 38	10	3,5	0,3	15	7,5	5	» 35 » 100	D + 3,5
» 38 » 44	12	3,5	0,3	19	7,5	5	» 40 » 120	D + 3,5
» 44 » 50	14	4	0,4	22	8	5,5	» 45 » 140	D + 4
» 50 » 58	16	5	0,4	25	10	6,5	» 50 » 200	D + 5
» 58 » 68	18	5	0,4	29	10	7	» 60 » 220	D + 5
» 68 » 78	20	6	0,4	34	13	8	» 70 » 250	D + 6
» 78 » 92	24	7	0,4	39	15	9	» 80 » 280	D + 7
» 92 » 110	28	8	0,5	46	17	11	» 90 » 300	D + 8
» 110 » 130	32	9	0,5	55	19	12	» 100 » 350	D + 9
» 130 » 150	36	10	0,5	65	22	13	» 120 » 450	D + 10



Chavetas tangenciales para usos generales (De la tabla UNIM 101)

Chavetas tangenciales para soportar choques de dirección variable (De la tabla UNIM 102)

Medidas en mm

Diámetro del árbol D	Chaveta t	b	r	Chavetero a	Diámetro del árbol D	Chaveta t	b	r	Chavetero a
60	7	19,3	1	1,5	180	12	44,9	1,5	2
70	7	21	1	1,5	190	14	49,6	1,5	2
80	8	24	1	1,5	200	14	51	1,5	2
90	8	25,6	1	1,5	210	14	52,4	1,5	2
100	9	28,6	1	1,5	220	16	57,1	1,5	2
110	9	30,1	1	1,5	230	16	58,5	1,5	2
120	10	33,2	1	1,5	240	16	59,9	1,5	2
130	10	34,6	1	1,5	250	18	64,6	2	2,5
140	11	37,7	1	1,5	260	18	66	2	2,5
150	11	39,1	1	1,5	270	18	67,4	2	2,5
160	12	42,1	1,5	2	280	20	72,1	2	2,5
170	12	43,5	1,5	2	290	20	73,4	2	2,5

Los aceros empleados para chavetas son C 40; C 55, Aq 50.

Otro tipo de chaveta a considerar es el de las **chavetas tangenciales** de las que da un esquema la figura II, 315. Están unificadas en las tablas **UNI 101** y **UNI 102,** de las que se han sacado los datos reunidos en la tabla 94.

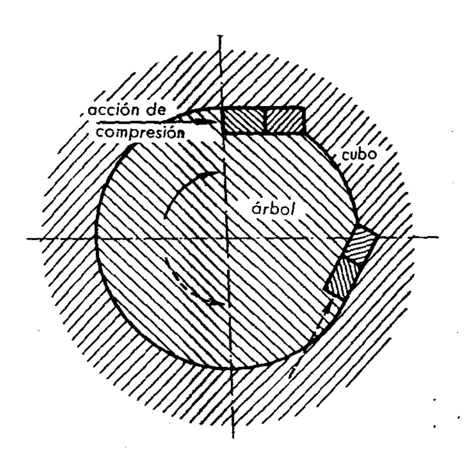


Fig. II, 315. *Aquí se ve cómo trabaja un par de chavetas tangenciales; las dos chavetas están colocadas en la forma indicada en la figura.*

La chaveta tangencial tiene la forma de un prisma de sección rectangular de medidas $t \times b$; pero este prisma está compuesto de dos partes, apoyadas una sobre otra y teniendo las superficies de apoyo una inclinación de 1:100 (fig. II, 316). Se comprende fácilmente que haciendo deslizar una de las partes sobre la otra, la altura b de la chaveta puede experimentar pequeñas variaciones.

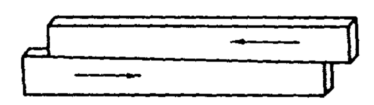


Fig. 316. *Mediante el deslizamiento de las dos superficies inclinadas una sobre otra, todas las chavetas tangenciales pueden variar moderadamente su propio espesor.*

El asiento de la chaveta está situado parte sobre el árbol y parte sobre el cubo, de modo que una de las caras de la misma resulta tangente al árbol, mientras que la cara que forma un ángulo de 90° con la anterior resulta radial (fig. II, 315).

El modo de trabajar de una chaveta tangencial es completamente distinto del de las chavetas anteriores (que trabajan por medio del rozamiento). Ésta trabaja en realidad por compresión, como se ve en la figura II, 315.

Estas chavetas se usan dobles, dispuestas a 120° una de otra, del modo indicado en la figura II, 315, y también a veces en dos pares.

Por sus características están indicadas para la transmisión de momentos de mucha importancia y también cuando se invierte con frecuencia el sentido de rotación.

Lengüetas. Las lengüetas son piezas de acero prismáticas o en forma de segmento cilíndrico limitado por dos caras planas paralelas. Éstas se introducen a presión en un chavetero adecuado practicado en las dos partes que se han de solidarizar, de modo que las dos caras paralelas de la lengüeta presionen sobre las caras correspondientes del chavetero, pero *sin ejercer presión alguna en sentido radial* (fig. II, 317). Es decir, *la lengüeta actúa solamente por sus flancos.* Para evitar las presiones radiales, las medidas efectivas de la lengüeta y del chavetero han de ser tales que resulte un juego en sentido radial entre la cara superior de la lengüeta y la cara superior del chavetero en el cubo.

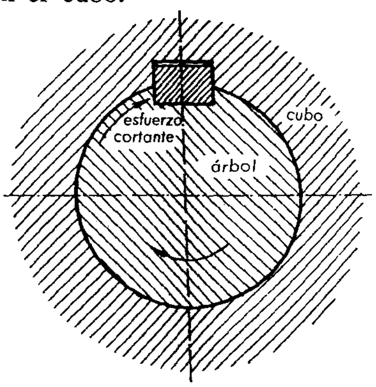


Fig. II, 317. *Lengüeta y forma en que trabaja, exclusivamente con los flancos.*

Las lengüetas permiten un desmontaje fácil de las piezas caladas.

Los tipos de lengüetas unificados están expuestos en las tablas **UNI** 91 a 100, habiéndose indicado esquemáticamente en la parte derecha de la tabla resumen 92.

En las tablas 95 y 96 están reunidos los datos correspondientes a las lengüetas.

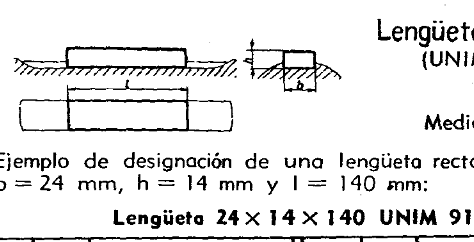
Para la elección de las lengüetas sirve lo que se ha dicho para las chavetas; es decir, se escogen en las correspondientes tablas, basándose en las medidas de los árboles.

Se ha de observar que las lengüetas, por su modo de actuar, no producen la excentricidad que es el inconveniente de las chavetas. Por lo cual han de preferirse cuando se desee evitar toda excentricidad (por ejemplo en el caso de montaje de engranajes).

En cuanto al mecanizado de las ranuras para las lengüetas análogamente a lo dicho para las chavetas, se puede decir que:

a) Las ranuras del cubo se practican generalmente mediante máquinas de mortajar.

Lengüetas rectas
(UNIM 91)



Medidas en mm

Ejemplo de designación de una lengüeta recta que tiene b = 24 mm, h = 14 mm y l = 140 mm:

Lengüeta 24 × 14 × 140 UNIM 91

b	h	l	b	h	l
2	2	de 8 a 18	12	8	de 30 a 120
3	3	» 8 » 25	14	9	» 35 » 140
4	3	» 8 » 25	16	10	» 45 » 180
4	4	» 10 » 30	18	11	» 50 » 200
5	3	» 10 » 40	20	12	» 60 » 220
5	5	» 10 » 40	24	14	» 70 » 280
6	4	» 12 » 50	28	16	» 80 » 300
6	6	» 12 » 50	28	17	» 80 » 300
7	7	» 15 » 60	32	18	» 90 » 350
8	5	» 20 » 70	32	20	» 90 » 350
8	7	» 20 » 70	36	20	» 100 » 400
10	6	» 25 » 90	36	23	» 100 » 400
10	8	» 25 » 90	40	22	» 120 » 400

Lengüetas engastadas
(UNIM 92)

Medidas en mm

Ejemplo de designación de una lengüeta engastada, de sección de 24 × 14 y de longitud 140 mm:

24 × 14 × 140 UNIM 92

b	h	l	b	h	l
4	3	de 8 a 25	16	10	de 45 a 180
4	4	» 10 » 30	18	11	» 50 » 200
5	3	» 10 » 40	20	12	» 60 » 220
5	5	» 10 » 40	24	14	» 70 » 280
6	4	» 12 » 50	28	16	» 80 » 300
6	6	» 12 » 50	28	17	» 80 » 300
7	7	» 15 » 60	32	18	» 90 » 350
8	5	» 20 » 70	32	20	» 90 » 350
8	7	» 20 » 70	36	20	» 100 » 400
10	6	» 25 » 90	36	23	» 100 » 400
10	8	» 25 » 90	40	22	» 120 » 400
12	8	» 30 » 120	40	26	» 120 » 400
14	9	» 35 » 140	45	25	» 160 » 400

Lengüetas rectas taladradas (UNIM 93)
Lengüetas engastadas taladradas (UNIM 94)

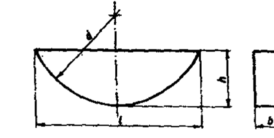
Medidas en mm

Ejemplo de designación de una lengüeta recta taladrada, de sección 24 × 14 y de longitud 140 mm:

24 × 14 × 140 UNIM 93

b	h	l	b	h	l
14	9	de 35 a 140	36	20	de 100 a 400
16	10	» 45 » 180	36	23	» 100 » 400
18	11	» 50 » 200	40	22	» 120 » 400
20	12	» 60 » 220	40	26	» 120 » 400
24	14	» 70 » 280	45	25	» 160 » 400
28	16	» 80 » 300	45	28	» 160 » 400
28	17	» 80 » 300	50	28	» 180 » 400
32	18	» 90 » 350	50	32	» 180 » 400
32	20	» 90 » 350			

Lengüetas redondas
(UNIM 99)

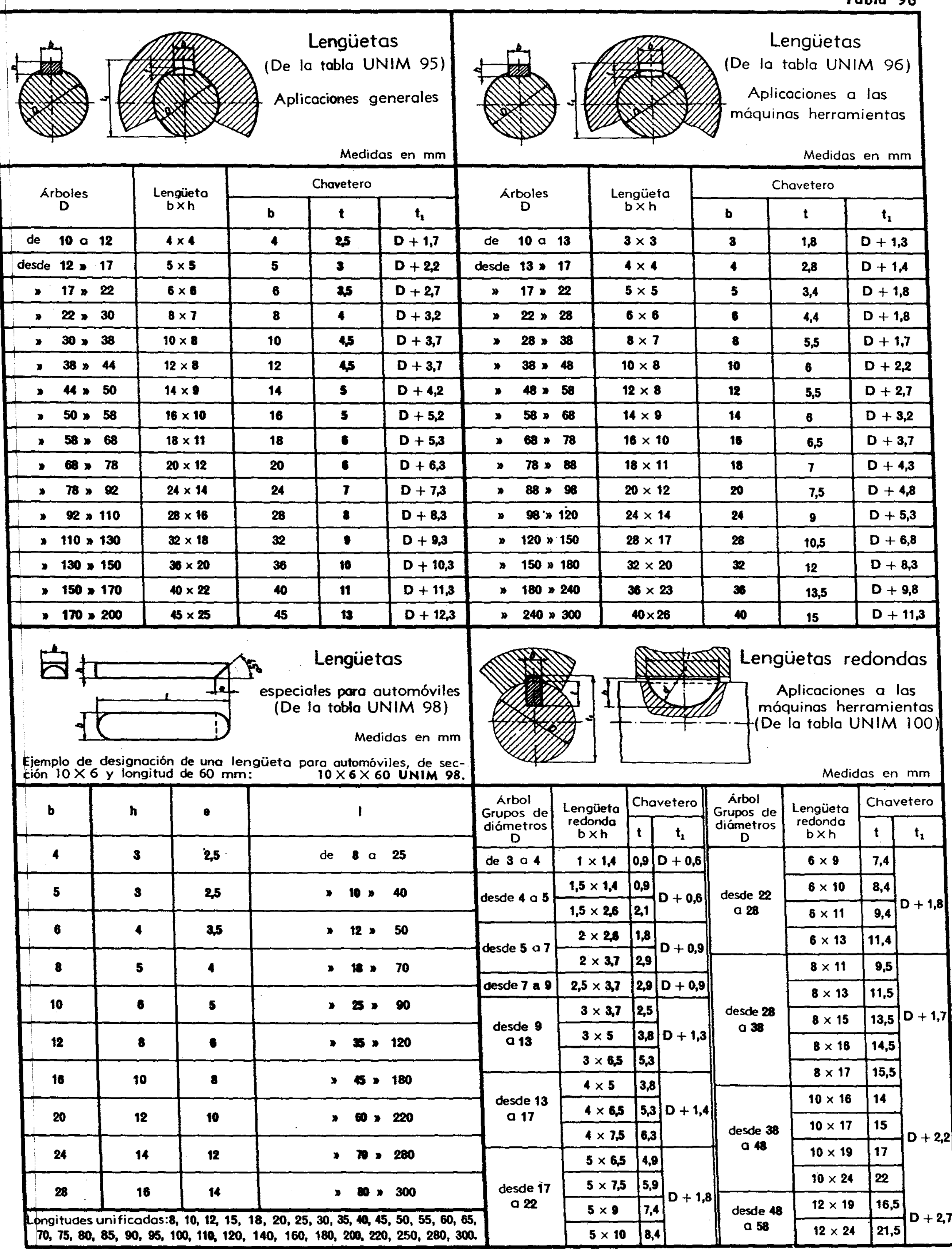


Medidas en mm

Ejemplo de designación de una lengüeta redonda de 4 mm de espesor y 7,5 mm de altura:

4 × 7,5 UNIM 99

b × h	l	d	b × h	l	d	b × h	l	d
1 × 1,4	3,82	4	4 × 9	21,63	22	7 × 16	42,08	45
1,5 × 1,4			5 × 9			8 × 16		
1,5 × 2,6	6,76	7	6 × 9			9 × 16		
2 × 2,6			5 × 10	24,49	25	10 × 16		
2 × 3,7	9,66	10	6 × 10			8 × 17	50,83	55
2,5 × 3,7			7 × 10			9 × 17		
3 × 3,7			6 × 11	27,35	28	10 × 17		
2 × 5	12,65	13	7 × 11			11 × 17		
3 × 5			8 × 11			9 × 19	59,13	65
4 × 5			6 × 13	31,43	32	10 × 19		
3 × 6,5	15,72	16	7 × 13			11 × 19		
4 × 6,5			8 × 13			12 × 19		
5 × 6,5			7 × 15	37,15	38	9 × 24	73,32	80
3 × 7,5	18,57	19	8 × 15			10 × 24		
4 × 7,5			9 × 15			11 × 24		
5 × 7,5						12 × 24		



Lengüetas
(De la tabla UNIM 95)

Aplicaciones generales

Medidas en mm

Árboles D	Lengüeta b × h	Chavetero b	t	t_1
de 10 a 12	4 × 4	4	2,5	D + 1,7
desde 12 » 17	5 × 5	5	3	D + 2,2
» 17 » 22	6 × 6	6	3,5	D + 2,7
» 22 » 30	8 × 7	8	4	D + 3,2
» 30 » 38	10 × 8	10	4,5	D + 3,7
» 38 » 44	12 × 8	12	4,5	D + 3,7
» 44 » 50	14 × 9	14	5	D + 4,2
» 50 » 58	16 × 10	16	5	D + 5,2
» 58 » 68	18 × 11	18	6	D + 5,3
» 68 » 78	20 × 12	20	6	D + 6,3
» 78 » 92	24 × 14	24	7	D + 7,3
» 92 » 110	28 × 16	28	8	D + 8,3
» 110 » 130	32 × 18	32	9	D + 9,3
» 130 » 150	36 × 20	36	10	D + 10,3
» 150 » 170	40 × 22	40	11	D + 11,3
» 170 » 200	45 × 25	45	13	D + 12,3

Lengüetas
(De la tabla UNIM 96)

Aplicaciones a las máquinas herramientas

Medidas en mm

Árboles D	Lengüeta b × h	Chavetero b	t	t_1
de 10 a 13	3 × 3	3	1,8	D + 1,3
desde 13 » 17	4 × 4	4	2,8	D + 1,4
» 17 » 22	5 × 5	5	3,4	D + 1,8
» 22 » 28	6 × 6	6	4,4	D + 1,8
» 28 » 38	8 × 7	8	5,5	D + 1,7
» 38 » 48	10 × 8	10	6	D + 2,2
» 48 » 58	12 × 8	12	5,5	D + 2,7
» 58 » 68	14 × 9	14	6	D + 3,2
» 68 » 78	16 × 10	16	6,5	D + 3,7
» 78 » 88	18 × 11	18	7	D + 4,3
» 88 » 98	20 × 12	20	7,5	D + 4,8
» 98 » 120	24 × 14	24	9	D + 5,3
» 120 » 150	28 × 17	28	10,5	D + 6,8
» 150 » 180	32 × 20	32	12	D + 8,3
» 180 » 240	36 × 23	36	13,5	D + 9,8
» 240 » 300	40 × 26	40	15	D + 11,3

Lengüetas
especiales para automóviles
(De la tabla UNIM 98)

Medidas en mm

Ejemplo de designación de una lengüeta para automóviles, de sección 10 × 6 y longitud de 60 mm: 10 × 6 × 60 UNIM 98.

b	h	e	l
4	3	2,5	de 8 a 25
5	3	2,5	» 10 » 40
6	4	3,5	» 12 » 50
8	5	4	» 18 » 70
10	6	5	» 25 » 90
12	8	6	» 35 » 120
16	10	8	» 45 » 180
20	12	10	» 60 » 220
24	14	12	» 70 » 280
28	16	14	» 80 » 300

Longitudes unificadas: 8, 10, 12, 15, 18, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 110, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 250, 280, 300.

Lengüetas redondas
Aplicaciones a las máquinas herramientas
(De la tabla UNIM 100)

Medidas en mm

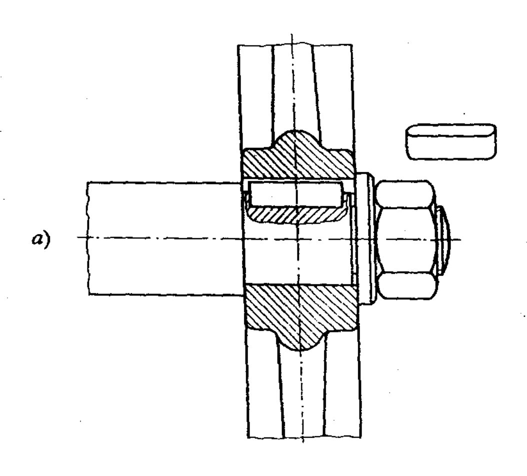
Árbol Grupos de diámetros D	Lengüeta redonda b × h	Chavetero t	t_1
de 3 a 4	1 × 1,4	0,9	D + 0,6
desde 4 a 5	1,5 × 1,4	0,9	D + 0,6
	1,5 × 2,6	2,1	
desde 5 a 7	2 × 2,6	1,8	D + 0,9
	2 × 3,7	2,9	
desde 7 a 9	2,5 × 3,7	2,9	D + 0,9
desde 9 a 13	3 × 3,7	2,5	D + 1,3
	3 × 5	3,8	
	3 × 6,5	5,3	
desde 13 a 17	4 × 5	3,8	D + 1,4
	4 × 6,5	5,3	
	4 × 7,5	6,3	
desde 17 a 22	5 × 6,5	4,9	D + 1,8
	5 × 7,5	5,9	
	5 × 9	7,4	
	5 × 10	8,4	

Árbol Grupos de diámetros D	Lengüeta redonda b × h	Chavetero t	t_1
desde 22 a 28	6 × 9	7,4	D + 1,8
	6 × 10	8,4	
	6 × 11	9,4	
	6 × 13	11,4	
desde 28 a 38	8 × 11	9,5	D + 1,7
	8 × 13	11,5	
	8 × 15	13,5	
	8 × 16	14,5	
	8 × 17	15,5	
desde 38 a 48	10 × 16	14	D + 2,2
	10 × 17	15	
	10 × 19	17	
	10 × 24	22	
desde 48 a 58	12 × 19	16,5	D + 2,7
	12 × 24	21,5	

b) Las ranuras del árbol se practican:
para lengüetas engastadas: con brocha.
para lengüetas redondas: con fresa de disco.

Nótese que la profundidad de la ranura que exigen las lengüetas redondas debilita notablemente los árboles, por lo que la lengüeta redonda se emplea solamente para árboles sometidos a esfuerzos moderados.

En el caso de tener que fijar ruedas de cualquier tipo sobre árboles con extremo troncocónico no se emplearán chavetas en ningún caso, sino únicamente lengüetas, que, por permitir el deslizamiento de la pieza sobre el árbol, facilitan el montaje y el ajuste. En estos casos se usa también muchas veces para el acoplamiento la lengüeta redonda (fig. II, 318 *b*), que resulta muy práctica por la sencillez de montaje y desmontaje y por la facilidad de practicar la ranura, aunque no se ha de olvidar la limitación señalada anteriormente. Tratándose de árboles sometidos a esfuerzos normales o considerables, así como en los acoplamientos cónicos, es necesario el empleo de lengüetas engastadas.



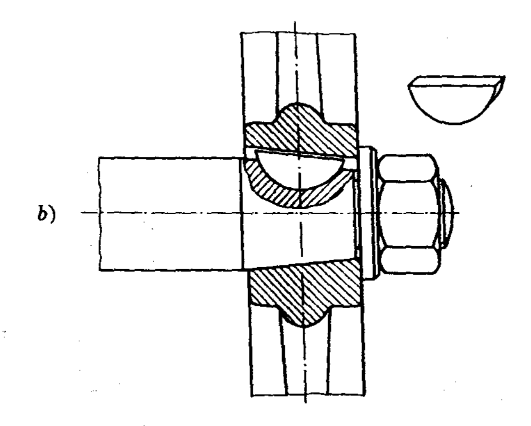


Fig. II, 318. *Acoplamiento de un árbol de extremo cilíndrico o troncocónico:* a) *lengüeta;* b) *lengüeta redonda.*

Nótese además que en caso necesario, está previsto en la tabla **UNIM 83** que los cantos de las lengüetas y chavetas estén achaflanados y que los cantos de los correspondientes chaveteros estén redondeados.

En la pequeña tabla 97 se han copiado los valores de los claflanes y redondeados previstos.

Tabla 97

Chaflanes de los cantos
de las chavetas y de los chaveteros

(Tabla UNIM 83)

Medidas en mm

b	r	b	r	b	r
2	0,3	14	1	45	2,5
3	0,3	16	1	50	2,5
4	0,3	18	1,5	55	3
5	0,3	20	1,5	60	3
6	0,5	24	1,5	70	3
7	0,5	28	2	80	3
8	0,5	32	2	90	3
10	0,5	36	2	100	3
12	1	40	2,5	—	—

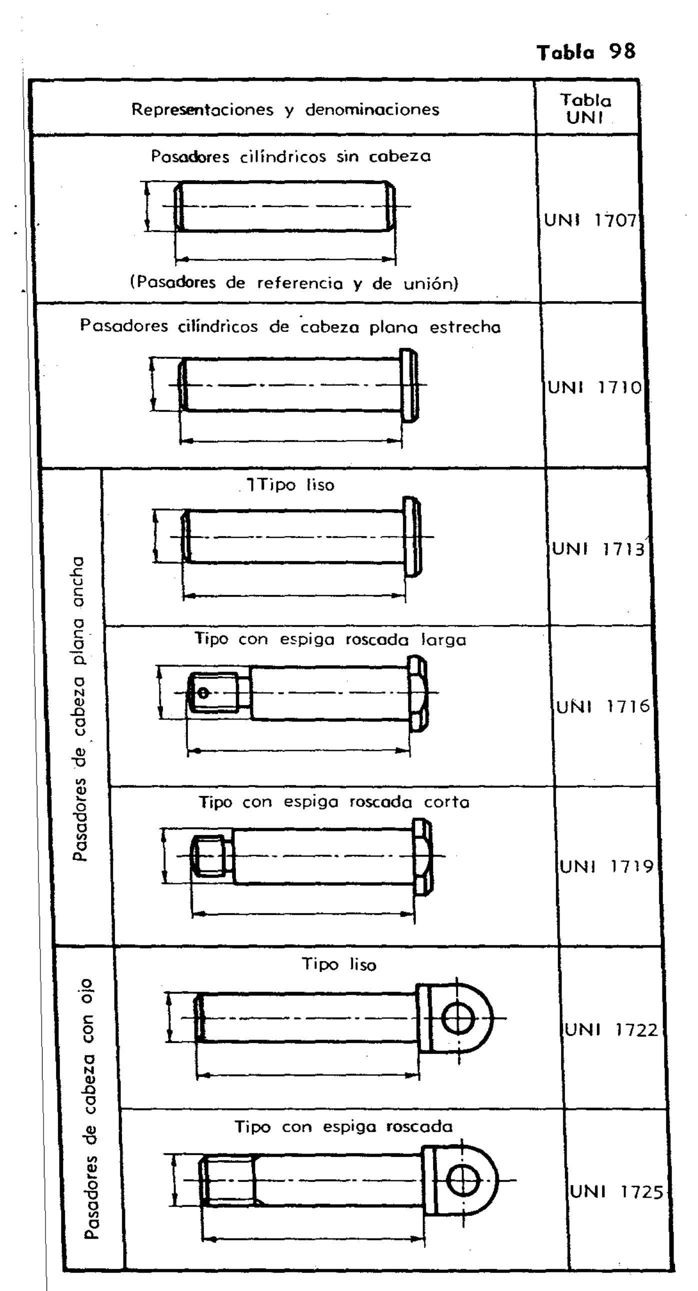
Las tablas **UNIM 93** y **94** prevén también la posibilidad de que las lengüetas rectas y engastadas estén taladradas, como se ve en la tabla 92. Estas lengüetas taladradas se emplean solamente cuando el cubo se ha de poder deslizar a lo largo del árbol guiado por la lengüeta o cuando su empleo sea indispensable por especiales exigencias de montaje. Se llama la atención sobre el hecho de que no esté previsto el empleo de lengüetas taladradas de anchura menor de 14 mm. El agujero central, roscado en la lengüeta no tiene agujero correspondiente en el fondo del chavetero y sirve sólo para desmontar la lengüeta, usando un tornillo como extractor.

65. Pasadores y chavetas transversales

La unión fija, pero desmontable, entre un árbol o un pasador y una pieza montada en el mismo se puede efectuar con un *pasador cónico* o *cilíndrico* o con una *chaveta transversal*. Los *pasadores cónicos*, con o sin espiga roscada están reseñados en las tablas **UNIM 129** y **130.** En la siguiente tabla 98 se han indicado los *pasadores cilíndricos* unificados, junto con el número de la tabla **UNI** de referencia.

Desde el punto de vista de su empleo, los pasadores no tienen únicamente el de piezas de ajuste indicado, sino que pueden clasificarse en:

Tabla 98



	Representaciones y denominaciones	Tabla UNI
	Pasadores cilíndricos sin cabeza (Pasadores de referencia y de unión)	UNI 1707
	Pasadores cilíndricos de cabeza plana estrecha	UNI 1710
Pasadores de cabeza plana ancha	Tipo liso	UNI 1713
	Tipo con espiga roscada larga	UNI 1716
	Tipo con espiga roscada corta	UNI 1719
Pasadores de cabeza con ojo	Tipo liso	UNI 1722
	Tipo con espiga roscada	UNI 1725

a) *Pasadores de unión* (fig. II, 319). Sirven para efectuar la únión antes indicada: se emplean los pasadores cónicos **UNIM 129** y a veces los pasadores cilíndricos **UNI 1707.** Sin embargo estos últimos son más usados para unir dos piezas, cumpliendo la función de eje de rotación de una pieza respecto a la otra, por ejemplo, en las charnelas.

b) *Pasadores de referencia.* Empleados como elementos de referencia para la unión de dos partes de un órgano que, por su función, deba sufrir frecuentes montajes y desmontajes, exigiéndose para estos últimos que la posición recíproca de las dos partes sea siempre exactamente la misma. Estas exigencias se dan, por ejemplo, en las imprentas, en las plantillas para taladrar, etc. Funciones análogas desempeñan los pasadores colocados en partes diversas (por ejemplo, bancadas) de máquinas herramientas con objeto de detener el movimiento de órganos deslizantes, como carritos, platos, etc., combinados o no con aparatos automáticos de desenganche, teniendo en este caso la función de evitar los daños causados por una falsa maniobra.

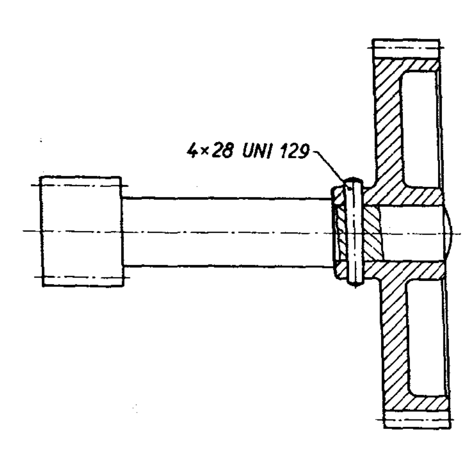


Fig. II, 319. *Pasador cónico de ajuste.*

Hay también los *pasadores de sustentación (o portantes)*, de los que se ha hablado en el n.° 63; no son más que árboles sometidos a esfuerzos mcderados y de pequeñas dimensiones, o que tienen una función especial y pueden ser *intermedios* o de *extremo*.

Recordamos finalmente los *pivotes* o *quicios*, llamados también gorrones *axiales*, en los que la resultante de las fuerzas aplicadas actúa según la dirección del eje del gorrón. Se recuerda (véase cap. III del texto de Mecánica) que el extremo del quicio ha de ser estudiado convenientemente en relación con la carga: para cargas elevadas, es indispensable que la superficie de sustentación, o sea, la superficie de contacto entre el extremo del quicio y su asiento de apoyo, tenga forma *anular*, para lograr una repartición menos desigual de la presión.

En la tabla 99 se han indicado los tipos más corrientes de pasadores cilíndricos unificados, con las medidas correspondientes. En la tabla 100 se han indicado las medidas de los pasadores cónicos.

En las figuras 320-321 se representan tres aplicaciones de los pasadores de unión y de referencia.

Las chavetas transversales no están, en cambio, unificadas. La figura 322 representa la aplicación de una chaveta transversal en lugar de un pasador cónico. Raramente se recurre a esta unión por la dificultad de ejecución.

En sustitución de los pasadores cónicos de unión, desde hace algunos años se ha extendido el uso de los *pasadores elásticos* **«Connex»,** llamados también dollas elásticas, por ser muy prácticos. Están constituidos como indica la figura II, 323 y presentan una hendidura dentada. Se fabrican de acero especial templado. Algunos tamaños se suministran con hendidura recta.

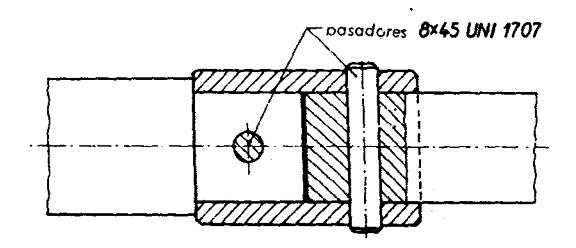


Fig. II, 320. *Unión mediante pasadores cilíndricos.*

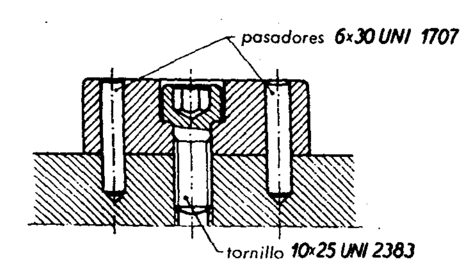


Fig. II, 321. *Aplicación de pasadores de referencia.*

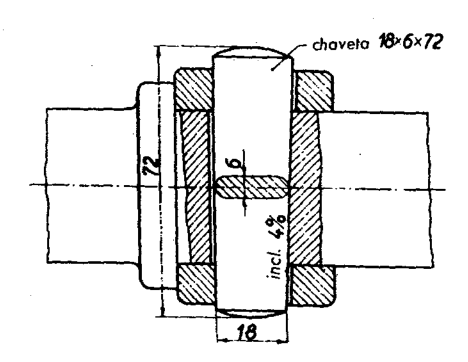


Fig. II, 322. *Ejemplo de unión con chaveta transversal.*



Fig. II, 323. *Pasador elástico «Connex».*

El achaflanado del extremo de los pasadores «Connex» tiene por objeto facilitar el montaje, que es rapidísimo.

El diámetro nominal D, de los pasadores elásticos es igual al diámetro del agujero al que se han de aplicar.

En la tabla 100 se indican las medidas de empleo más corriente, debiéndose observar que los tipos *S*1-*S*1,5-*S*1,8, tienen la hendidura recta, reservándose la hendidura dentada para los diámetros superiores a 2 mm únicamente.

66. Acoplamientos de perfil acanalado

La unión de un árbol con un cubo realizada por medio de chavetas o lengüetas, como se ha explicado anteriormente, es muy sencilla y práctica. Pero tiene el inconveniente de la asimetría del acoplamiento, que en el ajuste produce inevitablemente una cierta excentricidad.

Por otra parte, las uniones con chavetas y lengüetas son uniones fijas; o sea, que no permiten movimientos axiales relativos entre el árbol y el cubo.

Cuando por cualquier motivo se quiera evitar la asimetría señalada, obtener la posibilidad de un frecuente y fácil montaje y desmontaje o tener la posibilidad de desplazamientos axiales, relativos del árbol respecto al cubo, se usan los **acoplamientos de perfiles acanalados** (fig. II, 324), aplicados en la construcción de automóviles, en el cambio de marchas por engranajes, etc., que aseguran un perfecto centrado del cubo sobre el árbol y permiten los desplazamientos axiales.

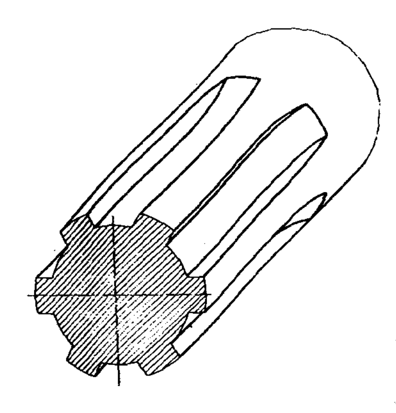
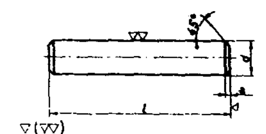


Fig. II, 324. *Árbol para acoplamiento de perfil acanalado.*



Pasadores cilíndricos sin cabeza
(De la tabla UNI 1707)

Ejemplo de designación de un pasador cilíndrico sin cabeza, que tiene d = 12 mm y l = 50 mm:

Pasador 12 × 50 UNI 1707

Medidas en mm

Indicaciones para la designación		a
d	l	
1	de 4 a 12	0,2
1,5	» 4 » 16	0,2
2	» 5 » 20	0,4
2,5	» 6 » 25	0,4
3	» 8 » 50	0,6
4	» 8 » 50	0,6
5	» 10 » 60	1
6	» 12 » 70	1
7	» 14 » 80	1
8	» 16 » 90	1
10	» 20 » 100	1,5
12	» 25 » 140	1,5
14	» 28 » 160	1,5
16	» 30 » 180	1,5
18	» 35 » 180	2,5
20	» 40 » 200	2,5
22	» 40 » 200	2,5
25	» 45 » 200	2,5
28	» 50 » 200	2,5
32	» 55 » 200	2,5
36	» 60 » 200	4
40	» 65 » 200	4
42	» 70 » 210	4
45	» 70 » 220	4
50	» 75 » 240	4
56	» 80 » 260	4
63	» 90 » 280	4
70	» 100 » 300	4
80	» 120 » 310	4
90	» 130 » 320	4
100	» 140 » 320	4
110	» 150 » 350	4
125	» 160 » 350	4

Longitudes unificadas: 4; 5; 6; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 30; 32; 35; 38; 40; 45; 50; 55; 60; 65; 70; 75; 80; 85; 90; 95; 100; 105; 110; 115; 120; 125; 130; 135; 140; 145; 150; 160; 170; 180; 190; 200; 210; 220; 230; 240; 250; 260; 270; 280; 290; 300; 310; 320; 330; 340; 350.

Pasadores cilíndricos de cabeza plana estrecha
(De la tabla UNI 1710)

Ejemplo de designación de un pasador cilíndrico de cabeza estrecha, que tiene d = 12 mm y l = 50 mm:

Pasador 12 × 50 UNI 1710

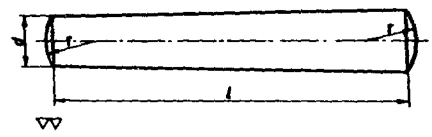
Medidas en mm

Indicaciones para la designación		a	b	D	h	r
d	l					
3	de 6 a 45	0,6	0,5	5	1	0,3
4	» 7 » 45	0,6	0,5	6	1	0,3
5	» 8 » 55	1	0,5	8	1,5	0,5
6	» 10 » 65	1	0,5	9	1,5	0,5
7	» 12 » 75	1	0,5	11	2	0,5
8	» 14 » 80	1	0,5	12	2	0,5
10	» 16 » 90	1,5	0,5	14	2	0,5
12	» 18 » 105	1,5	1	16	3	0,5
14	» 20 » 115	1,5	1	19	3	1
16	» 22 » 125	1,5	1	21	3	1
18	» 25 » 125	2,5	1	24	3	1
20	» 30 » 130	2,5	1	26	4	1
22	» 35 » 135	2,5	1	28	4	1
25	» 40 » 145	2,5	1	32	5	1
28	» 45 » 150	2,5	1	35	5	1
32	» 50 » 160	2,5	1	40	6	1
36	» 55 » 170	4	1	45	6	2
40	» 60 » 180	4	1	50	6	2
42	» 65 » 190	4	2	53	7	2
45	» 65 » 200	4	2	55	7	2
50	» 70 » 220	4	2	60	7	2
56	» 80 » 230	4	2	65	8	2
63	» 85 » 250	4	2	75	9	2
70	» 90 » 270	4	2	80	10	2
80	» 100 » 280	4	2	90	10	2
90	» 120 » 290	4	3	100	12	2
100	» 130 » 290	4	3	112	12	2
110	» 130 » 300	4	3	124	13,5	2
125	» 140 » 300	4	3	142	15	2

Longitudes unificadas: 6; 7; 8; 9; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 30; 32; 35; 38; 40; 45; 50; 55; 60; 65; 70; 75; 80; 85; 90; 95; 100; 105; 110; 115; 120; 125; 130; 135; 140; 145; 150; 160; 170; 180; 190; 200; 210; 220; 230; 240; 250; 260; 270; 280; 290; 300.

Pasadores cónicos

(De la tabla UNIM 129)



Ejemplo de designación de un pasador cónico, que tiene d=5 mm y l=32 mm:
5×32 UNIM 129

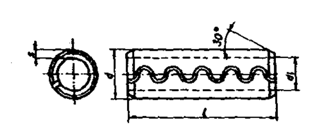
Medidas en mm

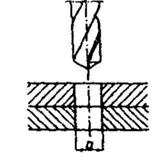
d	r	l
1	1,5	de 8 18
1,5	1,5	» 10 » 25
2	2,5	» 12 » 35
2,5	2,5	» 12 » 40
3	4	» 14 » 50
4	4	» 16 » 60
5	6	» 20 » 80
6	6	» 25 » 100

d	r	l
8	10	de 28 a 140
10	10	» 32 » 165
13	15	» 38 » 220
16	20	» 40 » 220
20	20	» 50 » 280
25	30	» 55 » 280
30	30	» 60 » 280

Longitudes unificadas: **8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 30; 32; 35; 38; 40; 45; 50; 55; 60; 70; 80; 90; 100; 110; 120; 130; 140; 150; 165; 180; 200; 220; 250; 280.**

Pasadores elásticos con hendidura dentada







El diámetro D del pasador coincide con el diámetro del agujero.

Medidas en mm

Diámetro nominal D	Medidas de los pasadores antes del montaje Tolerancias: para d+0,1 para l ± 0,5				Diámetro del agujero			d_{1}
	d	d	s	l	D	Tolerancias mín.	Tolerancias máx.	
1	1,2	0,8	0,2	de 4 a 20	1	0	+ 0,09	0,6
1,5	1,7	1,1	0,3	» 4 » 20	1,5	0	+ 0,09	0,9
1,8	2,0	1,3	0,35	» 4 » 25	1,8	0	+ 0,09	1,1
2	2,2	1,4	0,4	» 4 » 26	2	0	+ 0,09	1,2
2,5	2,7	1,7	0,5	» 4 » 30	2,5	0	+ 0,09	1,5
3	3,2	2,0	0,6	» 5 » 40	3	0	+ 0,09	1,8
3,5	3,7	2,2	0,75	» 5 » 40	3,5	0	+ 0,12	2
4	4,6	2,7	0,8	» 6 » 50	4	0	+ 0,12	2,4
5	5,3	3,3	1,0	» 8 » 80	5	0	+ 0,12	3
6	6,3	3,8	1,25	» 10 » 100	6	0	+ 0,12	3,5
6,5	6,8	4,3	1,25	» 10 » 100	6,5	0	+ 0,15	4
7	7,4	4,4	1,5	» 10 » 100	7	0	+ 0,15	4
8	8,4	5,4	1,5	» 10 » 120	8	0	+ 0,15	5
9	9,4	5,4	2,0	» 10 » 130	9	0	+ 0,15	5
10	10,5	6,5	2,0	» 10 » 150	10	0	+ 0,15	6
11	11,5	7,5	2,0	» 10 » 150	11	0	+ 0,18	7
12	12,5	7,5	2,5	» 10 » 150	12	0	+ 0,18	7
13	13,5	8,5	2,5	» 10 » 150	13	0	+ 0,18	8
14	14,5	8,5	3,0	» 10 » 150	14	0	+ 0,18	8
15	15,5	9,5	3,0	» 10 » 180	15	0	+ 0,18	9
16	16,5	10,5	3,0	» 10 » 180	16	0	+ 0,18	10
17	17,5	10,5	3,5	» 10 » 180	17	0	+ 0,18	10[illegible]
18	18,5	11,5	3,5	» 10 » 180	18	0	+ 0,18	11
19	19,5	11,5	4,0	» 10 » 180	19	0	+ 0,21	11[illegible]
20	20,5	12,5	4,0	» 10 » 200	20	0	+ 0,21	12
21	21,5	13,5	4,0	» 14 » 200	21	0	+ 0,21	13
22	22,5	13,5	4,5	» 14 » 200	22	0	+ 0,21	13
23	23,5	14,5	4,5	» 14 » 200	23	0	+ 0,21	14
24	24,5	15,5	4,5	» 14 » 200	24	0	+ 0,21	15

Estos acoplamientos se dividen según el número de ranuras que presentan, a igualdad de diámetro, y, por lo mismo, según la extensión de la superficie total de apoyo, en los tres tipos siguientes:

a) *de apoyo estrecho*, indicados para transmitir sólo una parte del momento de torsión que puede resistir el árbol *macizo*, de diámetro d (por ejemplo, los árboles huecos). Para este tipo, la relación entre la longitud L del cubo y el diámetro d es siempre menor que 1,5.

b) *de apoyo medio*, indicados para transmitir la totalidad del momento de torsión que el árbol macizo de diámetro d puede resistir; el acoplamiento es fijo o desplazable si no está cargado. Para este tipo, la relación L/d puede llegar a 1,5.

c) *de apoyo ancho*, con L/d superior a 1,5 e inferior a 2,5, indicados para transmitir la totalidad del momento de torsión que puede resistir el árbol macizo, de diámetro d, con acoplamiento desplazable bajo carga. Para este tipo, la relación L/d varía entre 1,5 y 2,5.

En la **tabla** 101 están resumidas las características de los acoplamientos de perfiles acanalados unificados. Se indican en los dibujos con la medida de su diámetro, las siglas UNI y el número de la tabla de referencia. Ejemplo: 36 UNI 222.

En las dos tablas 102 y 103 se han reunido todos los elementos unificados sobre perfiles acanalados, sacados de las tablas **UNI 220-223.**

Los acoplamientos de perfiles acanalados con centrado sobre el diámetro exterior **D** del árbol no están unificados y no son siquiera aconsejables, porque se encontrarían graves dificultades técnicas en la realización de acoplamientos satisfactorios.

En la tabla **UNI 224** se dan las tolerancias, en unidades del antiguo sistema UNI, tanto para los árboles acanalados como para los agujeros acanalados. No se copian los datos de dicha tabla porque hace tiempo que se considera anticuada; el asunto está actualmente en estudio y se puede decir que no hay normas sobre las tolerancias de los acoplamientos de perfiles acanalados.

Solamente a título de información, téngase presente que las tolerancias de la tabla **UNI 224** corresponden aproximadamente a las de la siguiente tabla 104.

Las normas unificadas para las proporciones de los perfiles acanalados están contenidas en la tabla **UNI 225.** En espera de que se publiquen nuevas normas se copia a continuación el procedimiento de cálculo.

Si **L** es la longitud axial de contacto del cubo sobre el árbol, toda la superficie de contacto, sobre los flancos de las ranuras, tiene el área $\frac{\mathbf{D}-\mathbf{d}}{2}\mathbf{L}$, sin tener en cuenta la altura **c** de los chaflanes; teniéndola en cuenta, dicha área será $\left(\frac{D-d}{2}-2c\right)L$.

Si **z** es el número de ranuras, ψ un coeficiente de utilización de las superficies consideradas, y $\mathbf{p}_a$ la presión unitaria admisible sobre dichas superficies, la presión total resulta evidentemente:

$$\left(\frac{\mathbf{D}-\mathbf{d}}{2}-2\mathbf{c}\right)\mathbf{L}\mathbf{z}\psi\mathbf{p}_a .$$

Esta presión tiene un brazo igual a la mitad del diámetro medio, o sea $(\mathbf{D}+\mathbf{d})/4$ y da por lo tanto un momento que debe ser igual al momento de torsión máximo $\mathbf{M}_t$ que el árbol macizo, de diámetro **d,** puede transmitir.

Por la mecánica se conoce el valor de este $\mathbf{M}_t$: por lo que indicando con τ_a la carga unitaria admisible, que depende del material del árbol, se puede escribir:

$$\mathbf{M}_t=\left(\frac{\mathbf{D}-\mathbf{d}}{2}-2\mathbf{c}\right)\mathbf{L}\mathbf{z}\psi\mathbf{p}_a\frac{\mathbf{D}+\mathbf{d}}{4}=\frac{\pi\mathbf{d}^3}{16}\tau_a .$$

A fin de simplificarla para los cálculos, se escribe esta fórmula como sigue:

$$\frac{\mathbf{L}}{\mathbf{d}}=\frac{\pi}{2\psi}\frac{\mathbf{d}^2}{(\mathbf{D}-\mathbf{d}-4\mathbf{c})(\mathbf{D}+\mathbf{d})\mathbf{z}}\cdot\frac{\tau_a}{\mathbf{p}_a}$$

y poniendo:

$$\mathbf{m}=\frac{\pi}{2\psi};\qquad \Omega=\frac{\mathbf{d}^2}{(\mathbf{D}-\mathbf{d}-4\mathbf{c})(\mathbf{D}+\mathbf{d})\mathbf{z}};$$

$$\mathbf{k}=\frac{\mathbf{p}_a}{\tau_a}.$$

Se tiene:

$$\frac{\mathbf{L}}{\mathbf{d}}=\frac{\mathbf{m}\Omega}{\mathbf{k}}.$$

Ω es la cantidad geométrica cuyos valores representan la mayor o menor capacidad de los perfiles acanalados para transmitir los momentos de torsión: a igualdad de los demás elementos, Ω es proporcional a $\mathbf{L}/\mathbf{d}$: por lo tanto, dado el diámetro **d** y el momento de torsión, cuanto mayor sea Ω, tanto mayor será la longitud del cubo. Para los perfiles unificados, el valor de Ω se indica ya en la tabla correspondiente.

Los valores prácticos de ψ y de **m** son los siguientes (tabla 105):

El valor de **k** se obtiene de la tabla 106, en la cual:

$\mathbf{R}_m$ y $\mathbf{R}_a$ son respectivamente las cargas de rotura del material con que están construidos el cubo y el árbol;

$\mathbf{M}_t$ es el momento de torsión que puede resistir el árbol macizo, de diámetro **d;**

$\mathbf{M}'_t$ es el momento de torsión que ha de transmitir el acoplamiento.

En las columnas *a)* están los valores de **k** para *carga constante y sin vibraciones, en óptimas condiciones de funcionamiento* (lubricación, etc.), y *para trabajo de gran precisión;* en las columnas *b)* están los valores de **k** para *carga variable, con fuertes vibraciones, en malas condiciones de funcionamiento y para trabajo de poca precisión.*

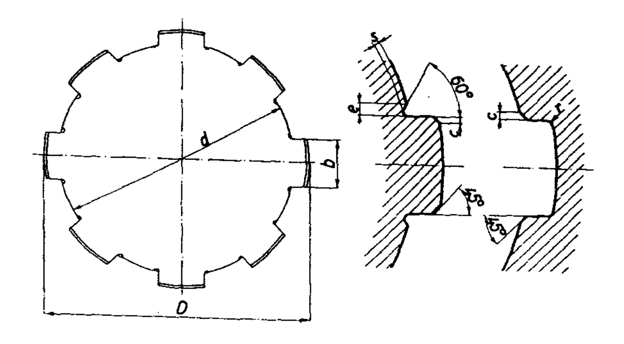
Representación y denominación	Características y designación	Usos aconsejados
Perfiles acanalados con apoyo de aprieto Centrado interior UNI 220	Las superficies de la cabeza de los dientes del cubo se apoyan sobre las superficies del fondo de las ranuras del árbol. Sobre el diámetro exterior D hay un juego debido a las tolerancias. Se obtiene un centrado más preciso que con los perfiles de centrado sobre los flancos. d UNI 220	Acoplamientos destinados a transmitir **sólo una parte** del momento de torsión que el árbol macizo de diámetro **d** podría resistir (por ejemplo, árboles huecos).
Perfiles acanalados con apoyo intermedio Centrado interior UNI 221 Centrado sobre los flancos UNI 222	Si el centrado es interior, las características son iguales a las del tipo anterior. Si el centrado es sobre los flancos, son los flancos de los dientes del árbol los que se apoyan sobre los de las ranuras del cubo. El centrado no es tan exacto. d UNI 221 (para centrado interior) d UNI 222 (para centrado sobre los flancos)	Acoplamientos destinados a transmitir **todo** el momento de torsión que el árbol macizo de diámetro **d** puede resistir, siempre que la unión sea fija o deslizable **sin carga.**
Perfiles acanalados con apoyo de juego Centrado sobre los flancos UNI 223	Los flancos de los dientes del árbol se apoyan sobre los de las ranuras del cubo. El centrado sobre los flancos puede ser aceptable, pero es menos exacto que el centrado interior. d UNI 223	Acoplamientos destinados a transmitir **todo** el momento de torsión que el árbol macizo de diámetro **d** puede resistir, cuando la unión es deslizable bajo carga.

Perfiles acanalados para acoplamientos de árboles y cubos. (UNI 220)

Tabla 102
Medidas en mm

Serie con apoyo de aprieto. Centrado interior

z = número de ranuras



Ejemplo de designación de un perfil acanalado, serie con apoyo de aprieto, centrado interior, con un diámetro interior de 42 mm:

42 UNI 220

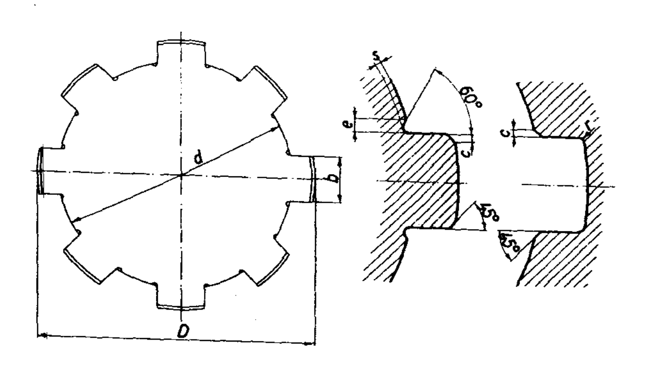
d	D	b	z	e ≃	s ≃	c ≃	r ≃	Ω
11	14	4	4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,55
13	16	5	4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,66
16	20	6	4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,56
18	22	7	4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,63
21	25	8	4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,75
23	26	6	6	0,4	0,2	0,2	0,2	0,82
26	30	6	6	0,4	0,2	0,2	0,2	0,63
28	32	7	6	0,4	0,2	0,2	0,2	0,68
32	36	6	8	0,6	0,3	0,3	0,3	0,67
36	40	7	8	0,6	0,3	0,3	0,3	0,76
42	46	8	8	0,6	0,3	0,3	0,3	0,89
46	50	9	8	0,6	0,3	0,3	0,3	0,98
52	58	10	8	1	0,5	0,5	0,5	0,77
56	62	10	8	1	0,5	0,5	0,5	0,83
62	68	12	8	1	0,5	0,5	0,5	0,92
72	78	12	10	1	0,5	0,5	0,5	0,86
82	88	12	10	1	0,5	0,5	0,5	0,99
92	98	14	10	1	0,5	0,5	0,5	1,11
102	108	16	10	1	0,5	0,5	0,5	1,24
112	120	18	10	1	0,5	0,5	0,5	0,90

Perfiles acanalados para acoplamientos de árboles y cubos. (UNI 221)

Medidas en mm

Serie con apoyo intermedio. Centrado interior

z = número de ranuras



Ejemplo de designación de un perfil acanalado, serie con apoyo intermedio, centrado interior, con un diámetro interior de 42 mm:

42 UNI 221

d	D	b	z	e ≃	s ≃	c ≃	r ≃	Ω
11	14	3	6	0,4	0,2	0,2	0,2	0,37
13	16	3,5	6	0,4	0,2	0,2	0,2	0,44
16	20	4	6	0,4	0,2	0,2	0,2	0,37
18	22	5	6	0,4	0,2	0,2	0,2	0,42
21	25	5	6	0,4	0,2	0,2	0,2	0,50
23	28	6	6	0,4	0,2	0,2	0,2	0,41
26	32	6	6	0,6	0,3	0,3	0,3	0,40
28	34	7	6	0,6	0,3	0,3	0,3	0,44
32	38	6	8	0,6	0,3	0,3	0,3	0,38
36	42	7	8	0,6	0,3	0,3	0,3	0,43
42	48	8	8	0,6	0,3	0,3	0,3	0,51
46	54	9	8	1	0,5	0,5	0,5	0,44
52	60	10	8	1	0,5	0,5	0,5	0,50
56	65	10	8	1	0,5	0,5	0,5	0,46
62	72	12	8	1	0,5	0,5	0,5	0,45
72	82	12	10	1	0,5	0,5	0,5	0,42
82	92	12	10	1	0,5	0,5	0,5	0,48
92	102	14	10	1	0,5	0,5	0,5	0,55
102	112	16	10	1	0,5	0,5	0,5	0,61
112	125	18	10	1	0,5	0,5	0,5	0,48

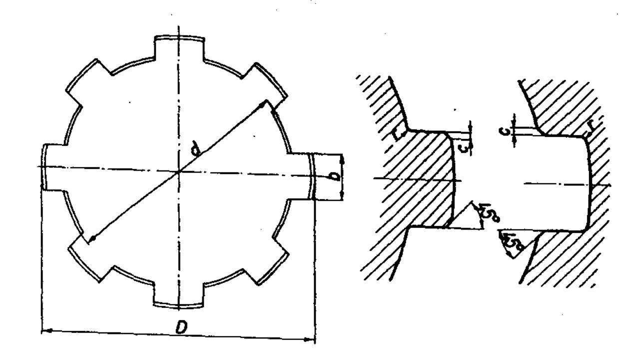
Perfiles acanalados para acoplamientos de árboles y cubos. (UNI 222)

Tabla 103

Medidas en mm

Serie con apoyo intermedio. Centrado sobre los flancos

z = número de ranuras.



d	D	b	z	c ≃	r ≃	Ω
11	14	3	6	0,2	0,2	0,37
13	16	3,5	6	0,2	0,2	0,44
16	20	4	6	0,2	0,2	0,37
18	22	5	6	0,2	0,2	0,42
21	25	5	6	0,2	0,2	0,50
23	28	6	6	0,2	0,2	0,41
26	32	6	6	0,3	0,3	0,40
28	34	7	6	0,3	0,3	0,44
32	38	6	8	0,3	0,3	0,38
36	42	7	8	0,3	0,3	0,43
42	48	8	8	0,3	0,3	0,51
46	54	9	8	0,5	0,5	0,44
52	60	10	8	0,5	0,5	0,50
56	65	10	8	0,5	0,5	0,46
62	72	12	8	0,5	0,5	0,45
72	82	12	10	0,5	0,5	0,42
82	92	12	10	0,5	0,5	0,48
92	102	14	10	0,5	0,5	0,55
102	112	16	10	0,5	0,5	0,61
112	125	18	10	0,5	0,5	0,48

Ejemplo de designación de un perfil acanalado, serie con apoyo intermedio, centrado sobre los flancos, que tiene un diámetro interior de 42 mm:

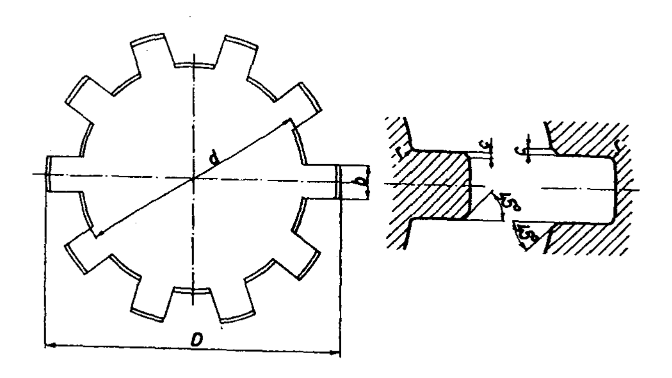
42 UNI 222

Perfiles acanalados para acoplamientos de árboles y cubos. (UNI 223)

Medidas en mm

Serie con apoyo de juego. Centrado sobre los flancos

z = número de ranuras



d	D	b	z	c	r	Ω
16	20	2,5	10	0,2	0,2	0,22
18	23	3	10	0,2	0,2	0,19
21	26	3	10	0,2	0,2	0,22
23	29	4	10	0,2	0,2	0,20
26	32	4	10	0,2	0,2	0,22
28	35	4	10	0,3	0,3	0,21
32	40	5	10	0,3	0,3	0,21
36	45	5	10	0,3	0,3	0,21
42	52	6	10	0,5	0,5	0,23
46	56	7	10	0,5	0,5	0,26
52	60	5	16	0,5	0,5	0,25
56	65	5	16	0,5	0,5	0,23
62	72	6	16	0,5	0,5	0,22
72	82	7	16	0,5	0,5	0,26
82	92	6	20	0,5	0,5	0,24
92	102	7	20	0,5	0,5	0,27
102	115	8	20	0,5	0,5	0,22
112	125	9	20	0,5	0,5	0,24

Ejemplo de designación de un perfil acanalado, serie con apoyo de juego, centrado sobre los flancos, que tiene un diámetro interior de 42 mm:

42 UNI 223

Tabla 104

Centrado	Tolerancias					
	Árboles			Agujeros		
	Diámetros		Anchura de los dientes	Diámetros		Anchura de los dientes
	Interior	Exterior		Interior	Exterior	
Interior	g 6	d 11	No hay correspondencia con el sistema ISA	H 7	Le correspondería aproximadamente H 14, que no está previsto para acoplamientos	No hay correspondencia con el sistema ISA
Sobre los flancos	d 11	d 11		H 11		

Tabla 105

Naturaleza de las superficies de contacto	Acoplamientos			
	Fijos o deslizables sin carga		Deslizables bajo carga	
	ψ	m	ψ	m
Las dos cementadas	0,55	2,85	0,65	2,42
Una sola cementada o ninguna	0,75	2,10	0,90	1,75

Tabla 106

Valores del coeficiente								
M'_t y R_m	Acoplamientos fijos		Acoplamientos deslizables sin carga		Acoplamientos deslizables bajo carga; superficies de contacto			
					Ambas cementadas		Una sola o ninguna cementada	
	a)	b)	a)	b)	a)	b)	a)	b)
$M'_t = M_t$, $R_m = R_a$	1,25	0,96	1,10	0,85	0,32	0,25	0,25	0,20
$M'_t = M_t$, $R_m < R_a$	$1{,}25 \frac{R_m}{R_a}$	$0{,}96 \frac{R_m}{R_a}$	$1{,}10 \frac{R_m}{R_a}$	$0{,}85 \frac{N_m}{R_a}$	$0{,}32 \frac{R_m}{R_a}$	$0{,}25 \frac{R_m}{R_a}$	$0{,}25 \frac{R_m}{R_a}$	$0{,}20 \frac{R_m}{R_a}$
$M'_t < M_t$, $R_m = R_a$	$1{,}25 \frac{M_t}{M'_t}$	$0{,}96 \frac{M_t}{M'_t}$	$1{,}10 \frac{M_t}{M'_t}$	$0{,}85 \frac{M_t}{M'_t}$	$0{,}32 \frac{M_t}{M'_t}$	$0{,}25 \frac{M_t}{M'_t}$	$0{,}25 \frac{M_t}{M'_t}$	$0{,}20 \frac{M_t}{M'_t}$
$M'_t < M_t$, $R_m < R_a$	$1{,}25 \frac{Rm\, M_t}{R_a\, M'_t}$	$0{,}96 \frac{R_m\, M_t}{R_a\, M'_t}$	$1{,}10 \frac{R_m\, M_t}{R_a\, M'_t}$	$0{,}85 \frac{R_m\, M_t}{R_a\, M'_t}$	$0{,}32 \frac{R_m\, M_t}{R_a\, M'_t}$	$0{,}25 \frac{R_m\, M_t}{R_a\, M'_t}$	$0{,}25 \frac{R_m\, M_t}{R_a\, M'_t}$	$0{,}20 \frac{R_m\, M_t}{R_a\, M'_t}$

Ejemplo. Se ha de calcular un acoplamiento de perfil acanalado desplazable si no está cargado, en condiciones óptimas de funcionamiento, para el que el cálculo del árbol, para un momento de torsión M_t da un diámetro $d = 46$ mm. El momento de torsión M'_t se supone igual al momento M_t, para el que se ha calculado la medida del árbol. Se ha fijado la serie de apoyo medio, centrado interior. El material del cubo tiene una carga de rotura de 0,8 del que constituye el árbol. Sólo una de las superficies está cementada.

De las tablas se deduce: $m = 2{,}10$. De la tabla se obtiene para k el valor $1{,}10 \frac{R_m}{R_a} = 1{,}10 \times 0{,}8 = 0{,}88$. Para $d = 46$ mm se halla en la tabla **UNI 221** el valor de $\Omega = 0{,}44$.

Se tiene ahora

$$\frac{L}{d} = \frac{m\Omega}{k} = \frac{0{,}88}{2{,}10 \cdot 0{,}44} = 1{,}04,$$

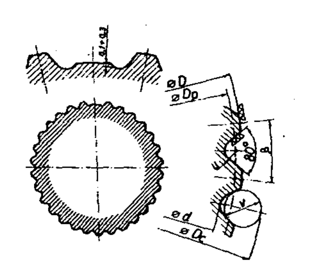
de donde,

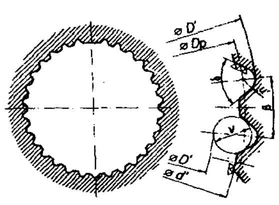
$$L = 1{,}04\ d = 1{,}04 \times 46 = 48 \text{ mm}$$

Este cálculo es aceptable porque L/d es menor que 1,5.

Se obtienen de la tabla **UNI 221** las otras medidas, que son: $D = 54$ mm; $b = 9$ mm; número de ranuras = 8; $e = 1$ mm; $s = 0{,}5$ mm; $c = 0{,}5$ mm; $r = 0{,}5$ mm.

Si el acoplamiento, con los mismos datos, tuviese que ser desplazable bajo carga, resultaría $k = 0{,}20$;





Perfiles acanalados para acoplamientos hélice-árbol para motores de aviación (De las tablas UNI 1264-1265)

Ejemplo de designación de un perfil acanalado para acoplamiento hélice-árbol para motores de aviación, siendo el diámetro d=52 mm:

52 UNI 1264

Medidas en mm

Indicaciones para la designación	Número de ranuras	Módulo d/z	β	D_p	δ	Árbol					Cubo				
						d	D_{h9}	u	Dc	v	d'_{H10}	D'_{H11}	u'	D'c	V'
42	30	1,45933	12°	43,780	68°	42	$44,8^{0}_{-0,062}$	$0,90^{0}_{-0,2}$	$48,656^{-0,022}_{-0,062}$	3	$42,7^{0}_{+0,100}$	$45,677^{0}_{+0,160}$	$0,91^{0}_{+0,2}$	$38,753^{+0,022}_{+0,083}$	3
52	30	1,80680	12°	54,204	68°	52	$55,5^{0}_{-0,074}$	$1,13^{0}_{-0,2}$	$60,972^{-0,026}_{-0,074}$	4	$52,9^{0}_{+0,120}$	$56,553^{0}_{+0,190}$	$1,13^{0}_{-0,2}$	$48,578^{+0,026}_{+0,097}$	3,5
62	30	2,15427	12°	64,628	68°	62	$66,2^{0}_{-0,074}$	$1,35^{0}_{-0,3}$	$72,009^{-0,026}_{-0,074}$	4,5	$63^{0}_{+0,120}$	$67,428^{0}_{+0,190}$	$1,35^{0}_{-0,3}$	$58,400^{+0,026}_{+0,097}$	4
72	36	2,07017	10°	74,526	70°	72	$76^{0}_{-0,074}$	$1,28^{0}_{-0,3}$	$82,081^{-0,026}_{-0,074}$	4,5	$73^{0}_{+0,120}$	$77,217^{0}_{+0,190}$	$1,27^{0}_{-0,3}$	$68,123^{+0,026}_{+0,097}$	4
82	36	2,35767	10°	84,876	70°	82	$86,7^{0}_{-0,087}$	$1,46^{0}_{-0,3}$	$93,161^{-0,030}_{-0,087}$	5	$83,1^{0}_{+0,140}$	$87,741^{0}_{+0,220}$	$1,44^{0}_{-0,3}$	$77,737^{+0,030}_{+0,112}$	4,5
92	36	2,64520	10°	95,227	70°	92	$97,2^{0}_{-0,087}$	$1,64^{0}_{-0,3}$	$104,240^{-0,030}_{-0,087}$	5,5	$93,2^{0}_{+0,140}$	$98,665^{0}_{+0,220}$	$1,63^{0}_{-0,3}$	$87,349^{+0,030}_{+0,112}$	5
102	36	2,93272	10°	105,578	70°	102	$10,7^{0}_{-0,087}$	$1,82^{0}_{-0,3}$	$115,323^{-0,030}_{-0,087}$	6	$103,4^{0}_{+0,140}$	$109,390^{0}_{+0,220}$	$1,79^{0}_{-0,3}$	$96,965^{+0,030}_{+0,112}$	5,5

Tolerancia sobre los diámetros v y v' de los rodillos de control: ± 0,00075 mm.

$m = 1,75$; $L/d = 3,85$, valor inadmisible por ser mayor que 1,5. En este caso se tendría que variar alguna de las condiciones del acoplamiento y rehacer el cálculo; por otra parte, en este caso no sería conveniente escoger la serie con apoyo medio, siendo más adecuada la serie con apoyo ancho.

67. Embragues de dientes

Se emplean otros muchos tipos de embragues, con funcionamiento análogo a los de perfiles acanalados, obtenidos con dientes radiales. Entre estos embragues de dientes hay uno unificado para empleo en aeronáutica y precisamente para el acoplamiento de la hélice con el árbol motor, en la tabla **UNI 1264-65.** A él se refiere la tabla n.° 107 del presente texto.

El embrague de dientes Whitworth, considerado en la tabla 108, está desde hace tiempo en estado de proyecto (UNI B 129).

Se ha de citar aquí el embrague de dientes Stub (fig. II, 325): tiene un dentado semejante al de los engranajes; los más difundidos son los de módulos entre 0,75 y 3.

Hay además los embragues Kerb, de dentado pequeño, de los cuales la figura II, 327 da una indicación esquemática en el extremo de un pequeño árbol, no unificado en Italia.

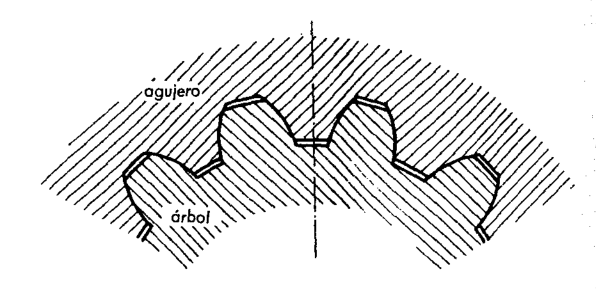


Fig. II, 325. *Embrague de dientes Stub, tipo engranaje.*

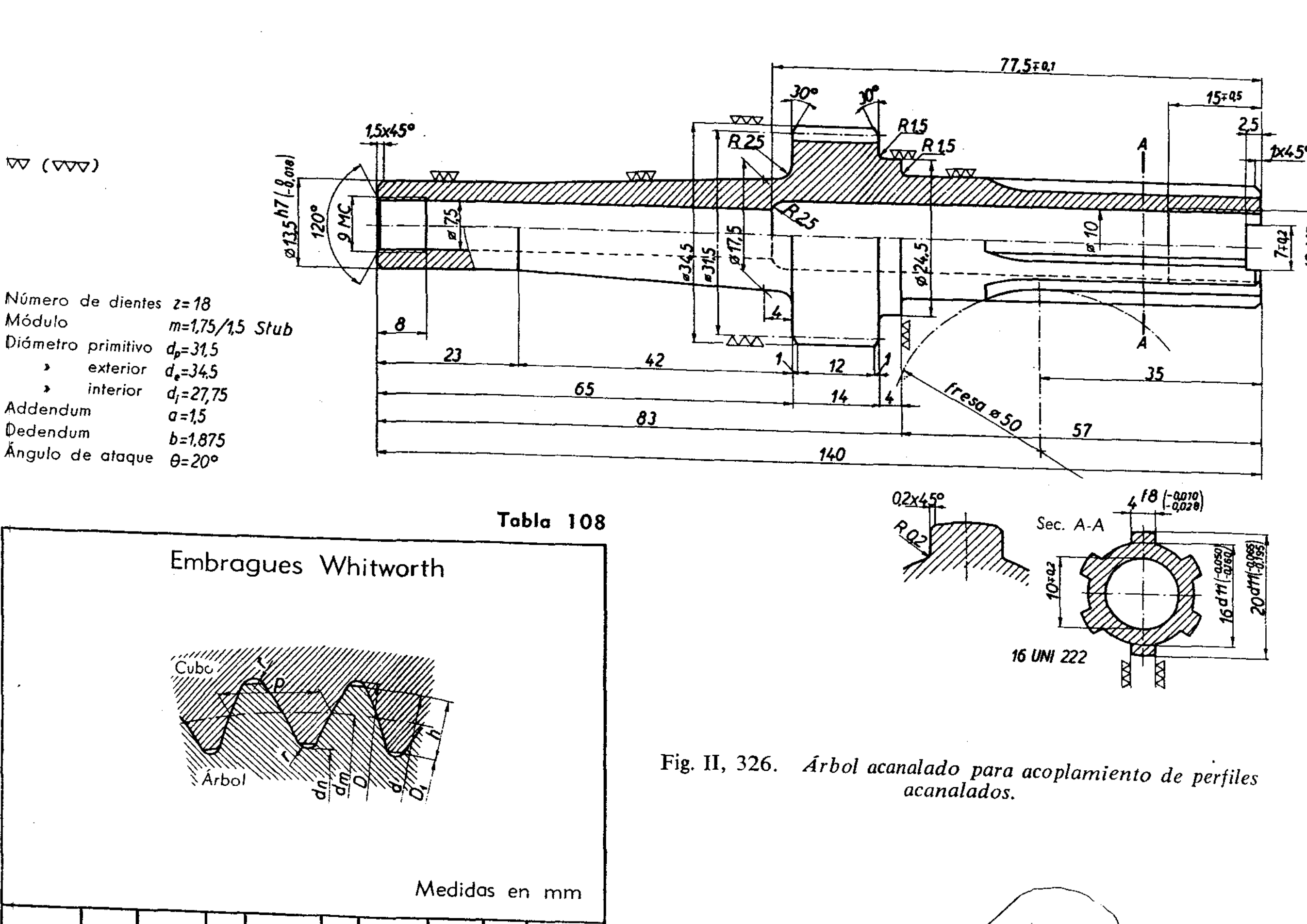


Fig. II, 326. *Árbol acanalado para acoplamiento de perfiles acanalados.*

Fig. II, 327. *Extremo de árbol para embrague de dientes, con dentado Kerb.*

Tabla 108

Embragues Whitworth

Medidas en mm

Indicaciones para la designación	d_n	D	D_1	d_m	z	p	Módulo	h	r
8	5,9	8,2	6	7	14	1,570	0,5	1	0,18
10	7,9	10,2	8	9	18	1,570	0,5	1	0,18
12	9,9	12,2	10	11	22	1,570	0,5	1	0,18
15	12,9	15,2	13	14	28	1,570	0,5	1	0,18
20	17,9	20,2	18	19	38	1,570	0,5	1	0,18
22	19,9	22,2	20	21	42	1,570	0,5	1	0,18
24	20,8	24,3	21	22,50	30	2,355	0,75	1,5	0,27
30	26,8	30,3	27	28,50	38	2,355	0,75	1,5	0,27
33	29,8	33,3	30	31,50	42	2,355	0,75	1,5	0,27
39	35,8	39,3	36	37,50	50	2,355	0,75	1,5	0,27
45	41,8	45,3	42	43,50	58	2,355	0,75	1,5	0,27
50	44,6	50,4	45	47,50	38	3,925	1,25	2,5	0,445
55	49,6	55,4	50	52,50	42	3,925	1,25	2,5	0,445
60	54,6	60,4	55	57,50	46	3,925	1,25	2,5	0,445
65	59,6	65,4	60	62,50	50	3,925	1,25	2,5	0,445
70	64,6	70,4	65	67,50	54	3,925	1,25	2,5	0,445
75	69,6	75,4	70	72,50	58	3,925	1,25	2,5	0,445
80	74,6	80,4	75	77,50	62	3,925	1,25	2,5	0,445
85	79,6	85,4	80	82,50	66	3,925	1,25	2,5	0,445
90	84,6	90,4	85	87,50	70	3,925	1,25	2,5	0,445
95	89,6	95,4	90	92,50	74	3,925	1,25	2,5	0,445
100	94,6	100,4	95	97,50	78	3,925	1,25	2,5	0,445

En la figura II, 326 se ha copiado el dibujo de un árbol acanalado; en la figura II, 328 se ha dibujado otro árbol, cuyo cubo acanalado correspondiente se representa en la figura II, 329.

68. Ajustes de mango cónico, cuadrado, etc.

Aquí se tratará someramente de los ajustes de mango de formas varias, cuyos tipos unificados se presentan en la tabla resumida 109. Los tipos de cono se usan especialmente para fijar herramientas; pero

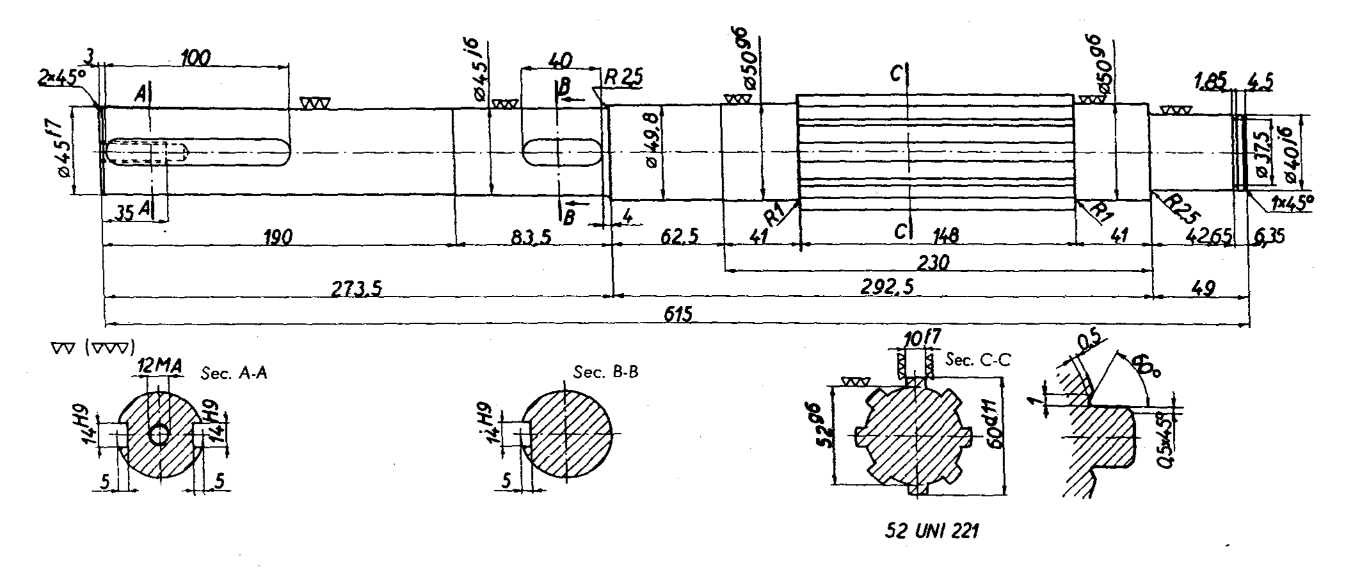


Fig. II, 328. *Árbol acanalado para acoplamiento con el cubo acanalado indicado en la* figura II, 329.

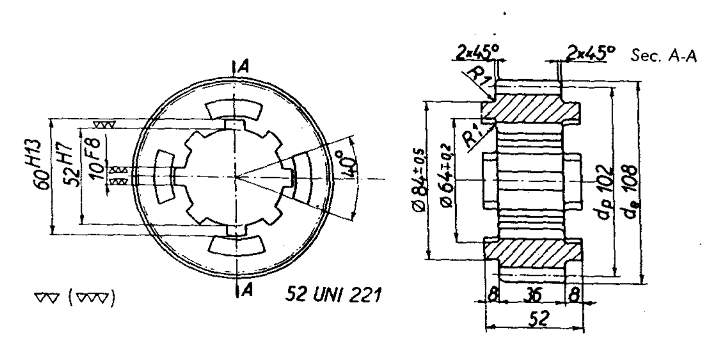


Fig. II, 329. *Cubo acanalado para acoplar con el árbol* (fig. II, 328).

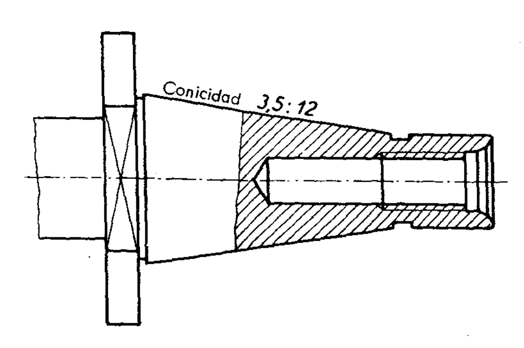


Fig. II, 330. *Ajuste de cono hueco para fresadora.*

tienen también otras aplicaciones (por ejemplo, para husillos de fresadoras, fig. II, 330).

Los conos de herramientas están unificados en la tabla **UNI 521-22,** de la que extractamos los elementos representados en la tabla 110.

Están también unificados los tipos con diente y los de agujero roscado; de cada uno hay el tipo de *cono métrico* y el de *cono Morse.*

Todos los conos métricos tienen la misma conicidad de 1:20. Los conos Morse, en cambio, tienen conicidad variable escalonada, como se puede ver en la citada tabla 110.

Para los de extremo cuadrado se ha establecido la unificación en la tabla **UNI 4090,** de la que ofrece un extracto la tabla 111.

69. Acoplamientos de árboles

En los epígrafes anteriores hemos examinado los modos de montar sobre los árboles los cubos de otros órganos o las herramientas que se hayan de fijar sobre los mismos estando parados (chavetas, lengüetas, chavetas transversales, ajustes de mango) y los maniobrables en paro y montables también en movimiento (acoplamientos de perfiles acanalados y de dientes).

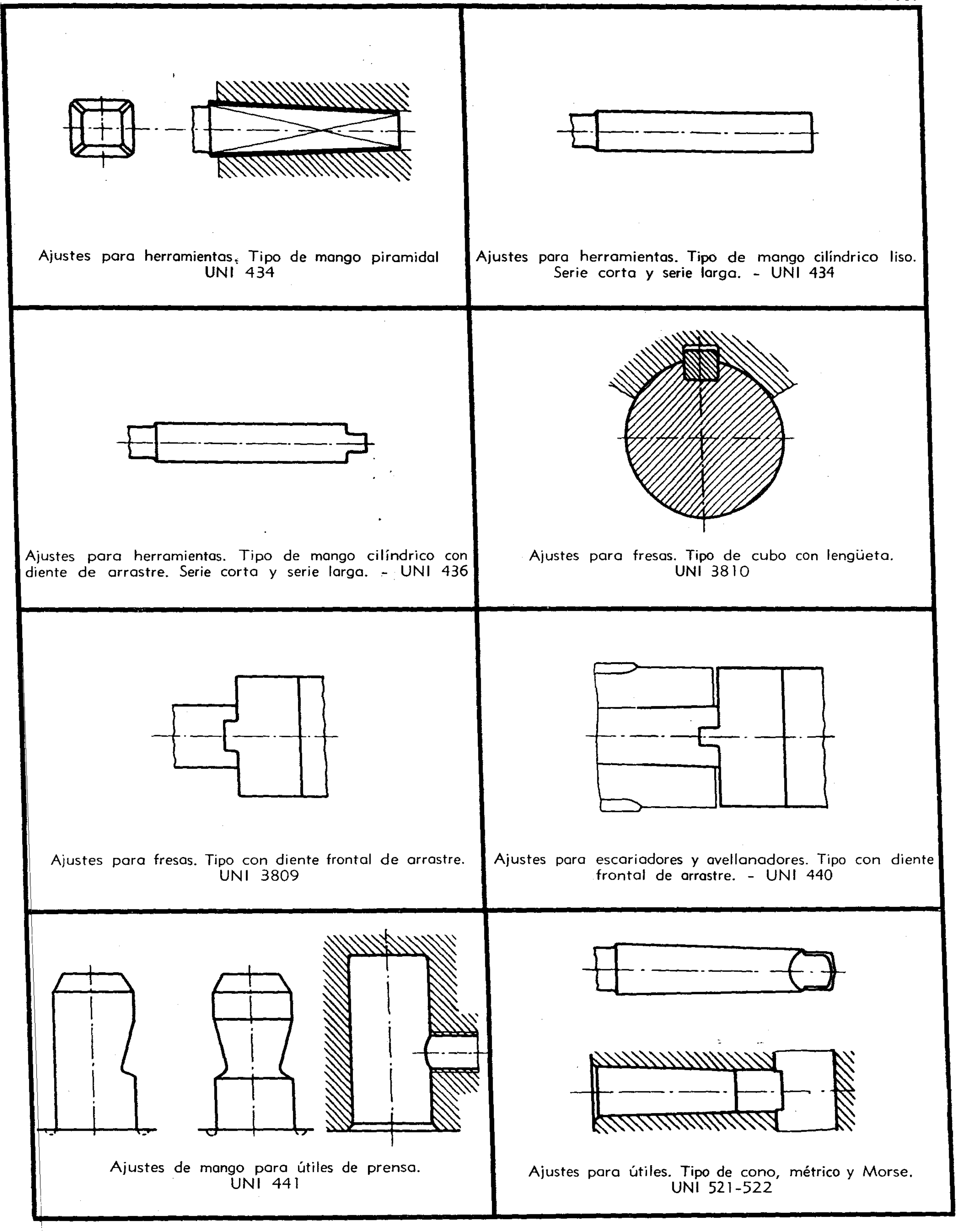
Pero frecuentemente se presenta la necesidad de unir directamente entre sí dos árboles, de modo que uno pueda transmitir al otro un momento de torsión. Esto se efectúa por medio de **acoplamientos** apropiados.

Hay muchísimos tipos diferentes de acoplamientos, que pueden dividirse en las clases indicadas en la tabla 112, en la que se han indicado los números de las figuras 331 a 344, que representan los diferentes tipos.

Ninguno de estos tipos de acoplamiento está unificado. Por lo general, se fabrican por talleres especializados, que publican catálogos y listas en los que se detallan las medidas corrientes de las diferentes partes de los acoplamientos, en relación con las medidas de los árboles.

La tabla 113 se refiere al acoplamiento rígido de anillos (fig. 331).

En la tabla 114 se hallan las medidas de un acoplamiento rígido de pernos (fig. 333).



Ajustes para herramientas. Tipo de mango piramidal UNI 434

Ajustes para herramientas. Tipo de mango cilíndrico liso. Serie corta y serie larga. - UNI 434

Ajustes para herramientas. Tipo de mango cilíndrico con diente de arrastre. Serie corta y serie larga. - UNI 436

Ajustes para fresas. Tipo de cubo con lengüeta. UNI 3810

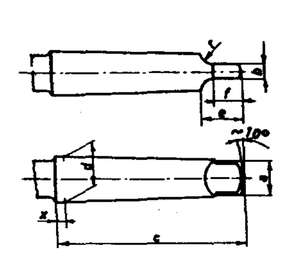
Ajustes para fresas. Tipo con diente frontal de arrastre. UNI 3809

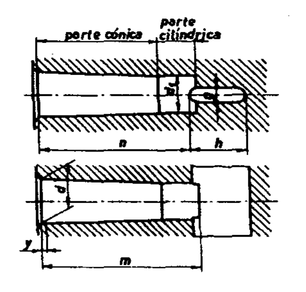
Ajustes para escariadores y avellanadores. Tipo con diente frontal de arrastre. - UNI 440

Ajustes de mango para útiles de prensa. UNI 441

Ajustes para útiles. Tipo de cono, métrico y Morse. UNI 521-522

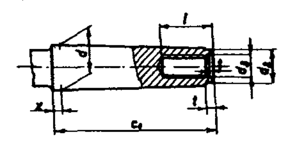
Mangos de las herramientas (De la tabla 521-522)

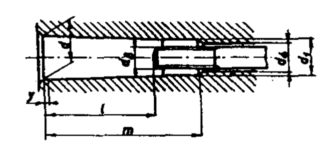




Ajuste de mango con diente

Ajuste de mango con agujero roscado





Medidas en mm

Designación	d	Posición del plano de medida del Ø d, x	Conicidad valores en		Mango de diente						Mango de agujero roscado				
			p %	1 : K	c	f	a	b	e	r	c_1	d_2	d_3	i	t
métrico 4	4	2^{+1}_{0}	$5^{0}_{+0,030}$	1 : 20	–	–	–	–	–	–	25	2	–	–	2,2
métrico 6	6	3^{+1}_{0}	$5^{0}_{+0,030}$	1 : 20	–	–	–	–	–	–	35	3,5	–	–	2,5
Morse 0	9,045	$3,2^{+1,2}_{0}$	$5,205^{0}_{+0,025}$	1 : 19,212	59,5	6,5	5,9	3,9	10,5	4	53	5,5	–	–	2,5
Morse 1	12,065	$3,5^{+1,5}_{0}$	$4,988^{0}_{+0,025}$	1 : 20,047	65,5	8,5	8,7	5,2	13,5	5	57	8	6 MA	16	3
Morse 2	17,780	4^{+2}_{0}	$4,995^{0}_{+0,025}$	1 : 20,020	78,5	10,5	13,6	6,3	16,5	6	68	13	10 MA	24	4
Morse 3	23,825	$4,5^{+2,5}_{0}$	$5,020^{0}_{+0,020}$	1 : 19,922	98	13	18,6	7,9	20	7	85	18	12 MA	28	4
Morse 4	31,267	$5,3^{+3}_{0}$	$5,194^{0}_{+0,020}$	1 : 19,254	123	15	24,6	11,9	24	9	108	24	16 MA	35	5
Morse 5	44,399	$6,3^{+4}_{0}$	$5,263^{0}_{+0,020}$	1 : 19,002	155,5	19,5	35,7	15,9	30,5	11	136	35	20 MA	45	6
Morse 6	63,348	$7,9^{+4}_{0}$	$5,214^{0}_{+0,015}$	1 : 19,180	217,5	28,5	51,3	19	45,5	17	189	50	24 MA	55	7
métrico 80	80	8^{+4}_{0}	$5^{0}_{+0,015}$	1 : 20	228	24	67	26	47	23	204	65	30 MA	65	8
métrico 100	100	10^{+5}_{0}	$5^{0}_{+0,015}$	1 : 20	270	28	85	32	58	30	242	85	36 MA	80	10
métrico 120	120	12^{+5}_{0}	$5^{0}_{+0,010}$	1 : 20	312	32	103	38	68	36	280	100	36 MA	80	11
métrico 160	160	16^{+6}_{0}	$5^{0}_{+0,010}$	1 : 20	396	40	139	50	88	48	356	135	45 MA	100	14
métrico 200	200	20^{+8}_{0}	$5^{0}_{+0,010}$	1 : 20	480	48	175	62	108	60	432	170	52 MA	120	18

Conos de utilaje

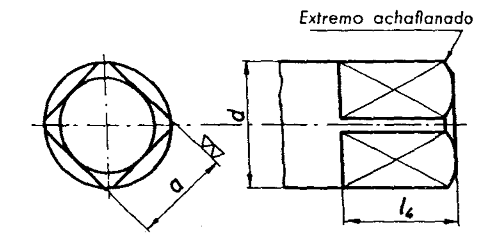
Medidas en mm

Designación	d	Posición del plano de medida del Ø d, y	Conicidad valores en		d_1	d_4	g	h	n	m	d_3	l
			p %	1 : K								
métrico 4	4	$^{0}_{+1}$	$5^{-0,030}_{0}$	1 : 20	3	–	–	–	–	25	–	–
métrico 6	6	$^{0}_{+1}$	$5^{-0,030}_{0}$	1 : 20	4,6	–	–	–	–	34	–	–
Morse 0	9,045	$^{0}_{+1,2}$	$5,205^{-0,025}_{0}$	1 : 19,212	6,7	–	4,1	15	49	52	–	–
Morse 1	12,065	$^{0}_{+1,5}$	$4,988^{-0,025}_{0}$	1 : 20,047	9,7	7	5,4	19	52	56	6 MA	41 ± 0,5
Morse 2	17,780	$^{0}_{+2}$	$4,995^{-0,025}_{0}$	1 : 20,020	14,9	11,5	6,6	22	63	67	10 MA	45 ± 0,5
Morse 3	23,825	$^{0}_{+2,5}$	$5,020^{-0,020}_{0}$	1 : 19,922	20,2	14	8,2	27	78	84	12 MA	58 ± 0,5
Morse 4	31,267	$^{0}_{+3}$	$5,194^{-0,020}_{0}$	1 : 19,254	26,5	18	12,2	32	98	107	16 MA	75 ± 1
Morse 5	44,399	$^{0}_{+4}$	$5,263^{-0,020}_{0}$	1 : 19,002	38,2	23	16,2	38	125	135	20 MA	95 ± 1
Morse 6	63,348	$^{0}_{+4}$	$5,214^{-0,015}_{0}$	1 : 19,180	54,8	27	19,3	47	177	187	24 MA	140 ± 1
métrico 80	80	$^{0}_{+4}$	$5^{-0,015}_{0}$	1 : 20	71,4	33	26,3	52	186	202	30 MA	145 ± 1,5
métrico 100	100	$^{0}_{+5}$	$5^{-0,015}_{0}$	1 : 20	89,9	39	32,3	60	220	240	36 MA	170 ± 2
métrico 120	120	$^{0}_{+5}$	$5^{-0,010}_{0}$	1 : 20	108,4	39	38,3	68	254	276	36 MA	205 ± 2
métrico 160	160	$^{0}_{+6}$	$5^{-0,010}_{0}$	1 : 20	145,4	48	50,3	84	321	350	45 MA	260 ± 2
métrico 200	200	$^{0}_{+8}$	$5^{-0,010}_{0}$	1 : 20	182,4	56	62,3	100	388	424	52 MA	320 ± 2,5

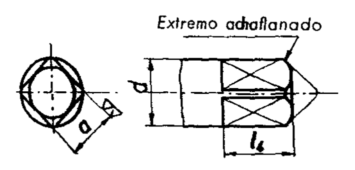
(De la tabla UNI 4090)

Diámetros de mangos y cuadrados de arrastre para útiles

Serie principal y serie secundaria



Serie principal



Serie secundaria

Medidas en mm

Serie principal

Grupos de diámetros d	Valores preferentes	Cuadrados de arrastre	
		a	l_4
de 2,65 a 3,00	2,80	2,24	5
» 3,00 » 3,35	3,15	2,50	
» 3,35 » 3,75	3,55	2,80	
» 3,75 » 4,25	4,00	3,15	6
» 4,25 » 4,75	4,50	3,55	
» 4,75 » 5,30	5,00	4,00	7
» 5,30 » 6,00	5,60	4,50	
» 6,00 » 6,70	6,30	5,00	8
» 6,70 » 7,50	7,10	5,60	
» 7,50 » 8,50	8,00	6,30	9
» 8,50 » 9,50	9,00	7,10	10
» 9,50 » 10,60	10,00	8,00	11
» 10,60 » 11,80	11,20	9,00	12
» 11,80 » 13,20	12,50	10,00	13
» 13,20 » 15,00	14,00	11,20	14
» 15,00 » 17,00	16,00	12,50	16
» 17,00 » 19,00	18,00	14,00	18
» 19,00 » 21,20	20,00	16,00	20
» 21,20 » 23,60	22,40	18,00	22
» 23,60 » 26,50	25,00	20,00	24
» 26,50 » 30,00	28,00	22,40	26
» 30,00 » 33,50	31,50	25,00	28

Serie secundaria

Grupos de diámetros d	Cuadrados de arrastre	
	a	l_4
de 2,65 a 2,80	2,24	5
» 2,80 » 3,00	2,36	
» 3,00 » 3,15	2,50	
» 3,15 » 3,35	2,65	5
» 3,35 » 3,55	2,80	
» 3,55 » 3,75	3,00	
» 3,75 » 4,00	3,15	6
» 4,00 » 4,25	3,35	
» 4,25 » 4,50	3,55	
» 4,50 » 4,75	3,75	
» 4,75 » 5,00	4,00	7
» 5,00 » 5,30	4,25	
» 5,30 » 5,60	4,50	
» 5,60 » 6,00	4,75	
» 6,00 » 6,30	5,00	8
» 6,30 » 6,70	5,30	
» 6,70 » 7,10	5,60	
» 7,10 » 7,50	6,00	
» 7,50 » 8,00	6,30	9
» 8,00 » 8,50	6,70	
» 8,50 » 9,00	7,10	10
» 9,00 » 9,50	7,50	

Acoplamientos de árboles		
Tipo del acoplamiento	Condiciones de empleo y características	Ejemplos: figuras
Rígido	Se usan para árboles coaxiales exactamente alineados. Dan un acoplamiento rígido, separable sólo en reposo.	331 a 335
Elástico	Entre los dos árboles se hallan interpuestos elementos deformables elásticos, de forma apropiada, tales como muelles, anillos de caucho, discos de cuero; éstos, que forman la parte característica del acoplamiento, permiten cierto movimiento angular, muy limitado, de un árbol respecto al otro. Son generalmente acoplamientos fijos, separables sólo en reposo; pero hay también numerosos tipos embragables solamente en reposo, pero desembragables aun en movimiento.	336 a 340
De fricción	Se pueden maniobrar en movimiento. Cuando, por ejemplo, convenga engranar dos engranajes en movimiento, montados sobre dos árboles paralelos, se puede dividir el árbol motor, en dos partes, unidas entre sí por fricción. Para efectuar el engrane se deja loca, por medio de la fricción, una de las partes del árbol; se efectúa entonces el engrane; luego, maniobrando la fricción, se pone de nuevo en movimiento, sin choques, la parte del árbol que había quedado loca. Este esquema puede aplicarse de muchísimos modos distintos.	342 a 343
Hidráulicos	Maniobrables en movimiento. Hay diferentes tipos. En uno de los mejores, el acoplamiento está dividido en dos partes. La que está unida al árbol motor funciona como una bomba de aceite y transfiere al aceite, comunicándole energía cinética, la potencia que ha de transmitir. Este aceite en movimiento actúa sobre la otra parte del acoplamiento, que funciona como una turbina hidráulica. Indicados para cuando sea necesario asegurar elasticidad a las transmisiones, eliminando los efectos de variaciones bruscas de carga, cuando se quiera poder desarrollar por la transmisión la máxima potencia de los motores eléctricos, etc.	341
De seguridad	Son acoplamientos que han de anular la unión entre los dos árboles (ya sea por rotura o por resbalamiento) cuando el momento de torsión sobrepasa un valor determinado.	—
Articulados	Son acoplamientos entre árboles que forman entre sí un ángulo obtuso, o bien con ejes de rotación paralelos, más o menos distantes.	344

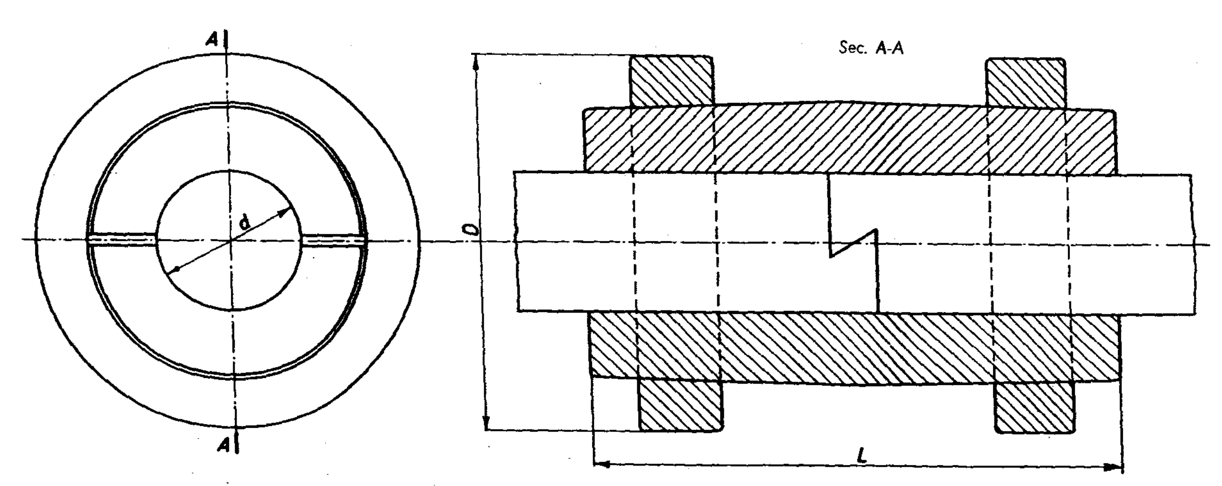


Fig. II, 331. *Acoplamiento rígido de anillos (Tagliabue).*

Tabla 113

Medidas corrientes de un acoplamiento rígido de anillos (fig. 331) — Medidas en mm			
Diámetro del árbol d	Diámetro D	Longitud L	Peso kg
25 ÷ 30	80	110	2,5
35 ÷ 40	100	140	5
45 ÷ 50	120	175	8
55 ÷ 60	140	210	13
65 ÷ 70	160	240	19
75 ÷ 80	180	270	27
85 ÷ 90	200	300	37
95 ÷ 100	220	330	47
105 ÷ 110	240	360	67
115 ÷ 120	260	400	81

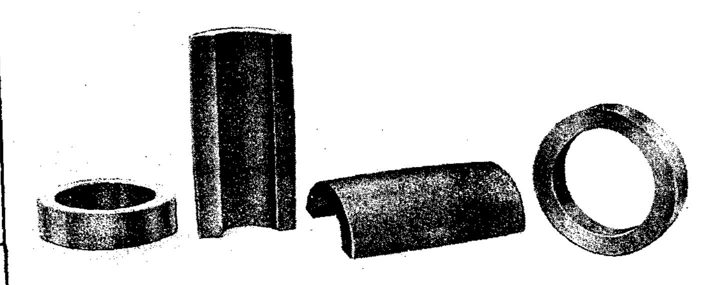


Fig. II, 332. *Despiece del acoplamiento de anillos* (fig. II, 331).

En la tabla 115 se indican las medidas de otro tipo de acoplamiento de pernos dibujado en la figura II, 335.

La tabla 116 indica las medidas de un acoplamiento elástico de pasadores.

En la tabla 117 se detallan las medidas principales del acoplamiento elástico con piezas de caucho representado en la figura II, 337.

La tabla 118 se refiere al acoplamiento elástico representado en la figura II, 338.

En la tabla 119 se hallan las medidas principales del acoplamiento semielástico reproducido en la figura II, 340.

Tab. 114

Medidas corrientes de un acoplamiento rígido de pernos (fig. 333)

Medidas en mm

Agujero A admitido		B	C	D	E	F	G	L	N.° máx. de revol. por minuto	N/n	Momento de torsión kg cm	N.° de pernos
Mín.	Máx.											
12	24	43	62	90	82	22	6	40	5500	0.007	500	4
14	28	55	78	110	100	24	6	50	4500	0.010	900	4
16	35	65	92	130	120	26	6	55	4000	0.025	1300	6
20	42	75	115	160	150	30	6	75	3600	0.040	3000	6
24	48	85	150	200	185	34	6	85	3200	0.060	4250	6
26	55	95	165	220	205	38	8	95	3000	0.100	7200	6
35	70	125	190	250	235	42	8	120	2600	0.200	14200	8
42	85	150	210	275	255	46	8	140	2250	0.400	25000	10
47	95	170	225	300	280	60	8	150	1800	0.600	40000	12
55	110	210	275	360	340	64	8	160	1600	1.000	70000	12
62	125	225	305	400	375	68	8	170	1450	1.250	90000	12
67	135	235	340	440	415	72	10	180	1350	1.500	110000	12
72	145	250	370	480	450	76	10	190	1250	1.800	130000	16
77	155	260	405	520	490	80	10	200	1000	2.400	175000	16

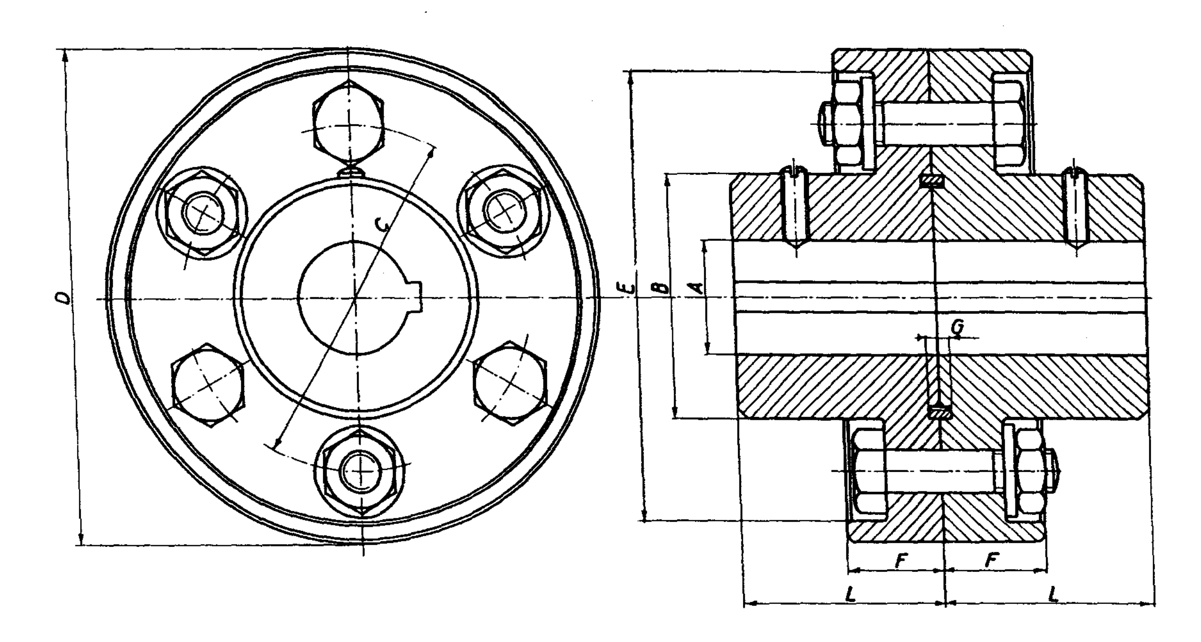


Fig. II, 333. *Acoplamiento rígido de pernos.*

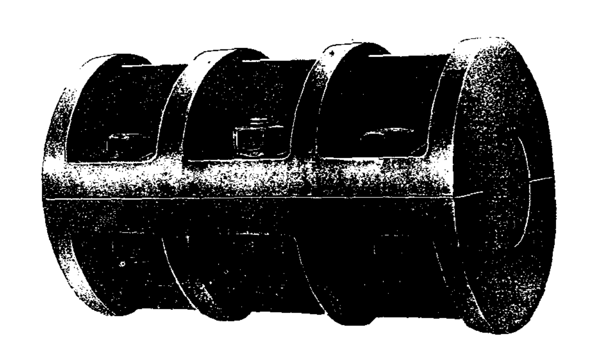


Fig. II, 334. *Acoplamiento rígido de pernos (Tagliabue) (vista).*

Fig. II, 335. *Dibujo del acoplamiento de pernos anterior* (fig. II, 334).

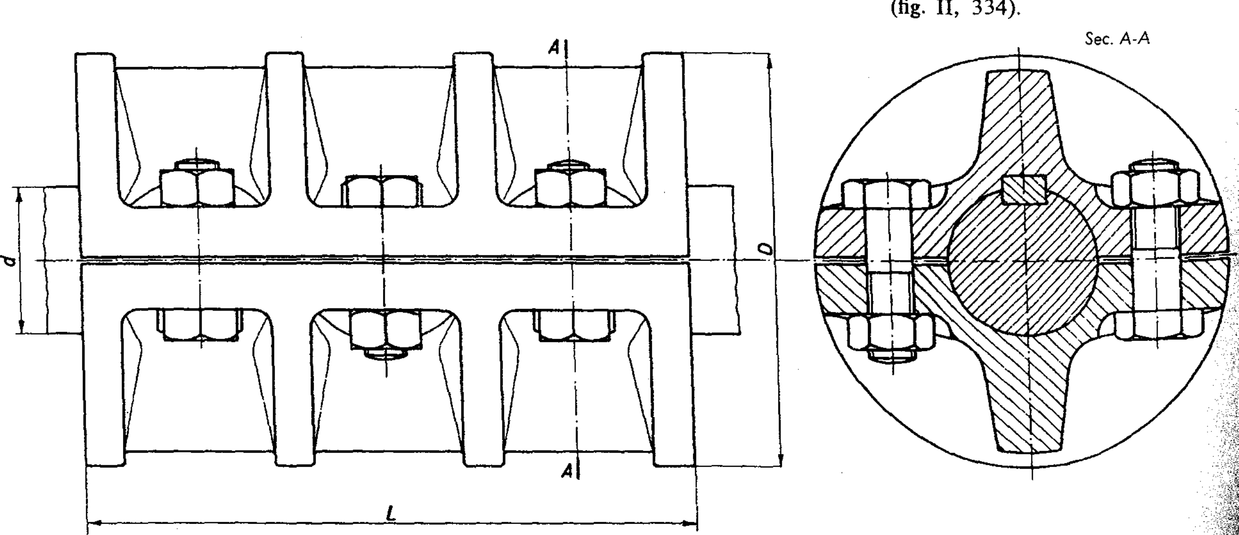


Tabla 115

Diámetro del árbol d	Diámetro D	Longitud L	Diámetro pernos	Número de pernos	Peso kg
25 ÷ 30	95	130	10	4	4
35 ÷ 40	110	160	10	6	5
45 ÷ 50	130	190	12	6	9
55 ÷ 60	145	220	14	6	14
65 ÷ 70	170	250	16	6	19
75 ÷ 80	185	280	16	6	25
85 ÷ 90	205	310	20	6	37
95 ÷ 100	220	350	22	6	47
105 ÷ 110	240	390	22	8	60
115 ÷ 120	270	430	22	8	80

Medidas corrientes de un acoplamiento de pernos (fig. 335)

Medidas en mm

En la tabla 120 se transcriben las medidas principales del acoplamiento hidráulico representado en la figura II, 341, y cuyo funcionamiento se explica en la correspondiente leyenda.

En la tabla 121 se transcriben las medidas de un embrague de fricción, representado en la figura II, 342.

Hay algunos otros tipos de acoplamiento, para usos especiales (automovilismo, transmisiones para maniobras navales, etc.) que están unificados. Los principales tipos están indicados en la tabla 122.

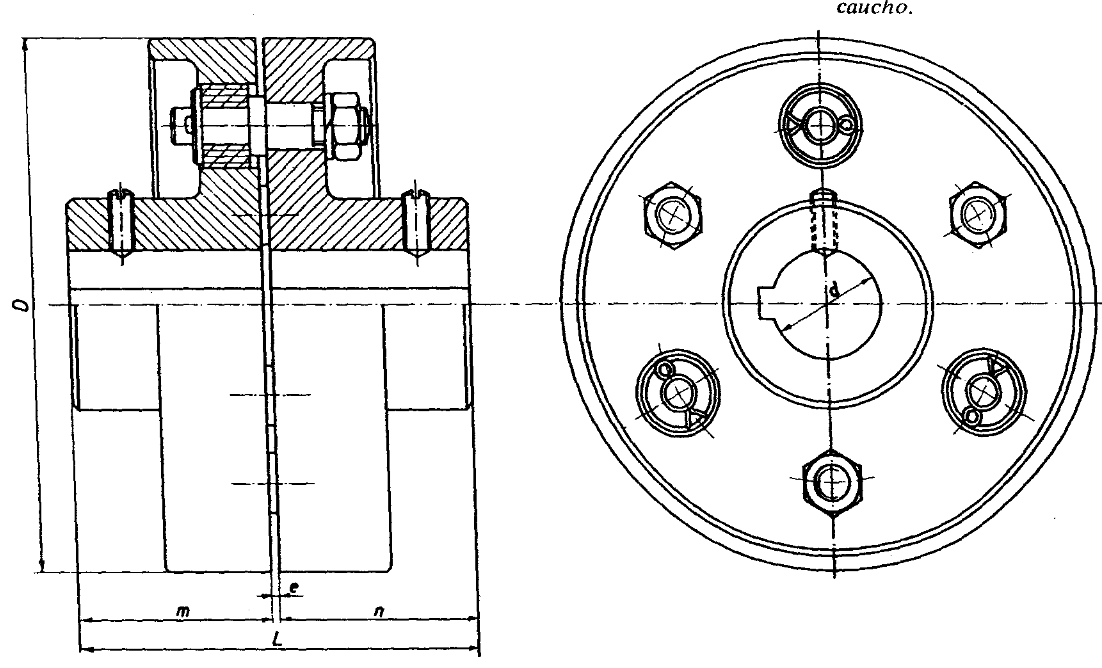
Tabla 116

Medidas corrientes de un acoplamiento elástico de clavijas «Pomini» (fig. 336)

Medidas en mm

d	D	e	L	m	n
20 ÷ 30	110	3	103	50	50
30 ÷ 45	130	3	123	60	60
40 ÷ 50	160	5	145	70	70
50 ÷ 65	190	5	155	75	75
60 ÷ 75	225	5	175	85	85
70 ÷ 80	260	5	205	100	100
80 ÷ 100	300	5	235	115	115
90 ÷ 105	360	5	265	130	130
100 ÷ 125	420	5	285	140	140
110 ÷ 130	500	5	305	150	150
125 ÷ 140	620	5	335	165	165
140 ÷ 160	750	5	385	190	190
160 ÷ 180	900	5	435	215	215

Fig. II, 336. *Acoplamiento elástico «Pomini». Es del tipo más sencillo, que tiene solamente clavijas recubiertas de caucho.*



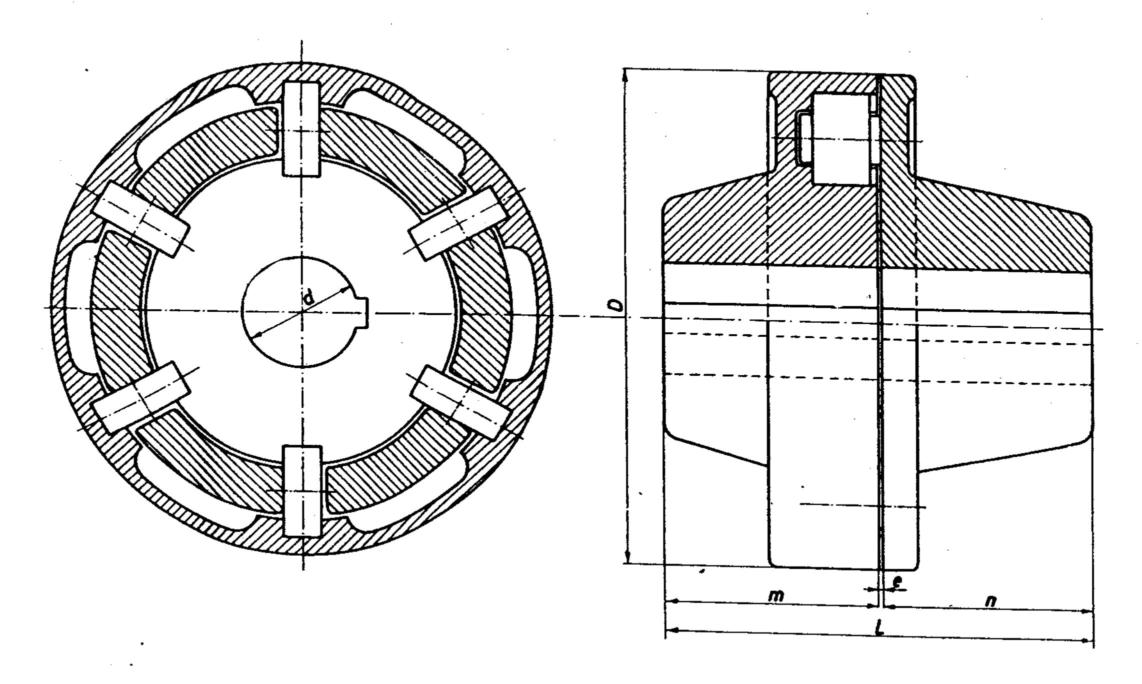


Fig. II, 337. *Acoplamiento elástico «Pomini», con piezas de caucho.*

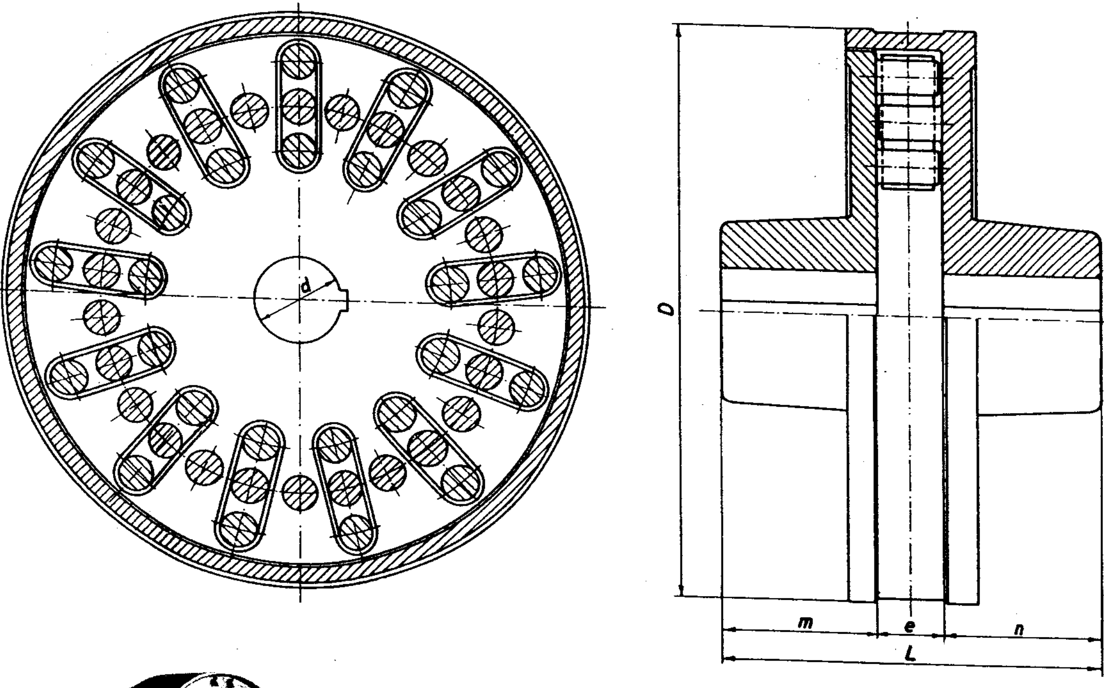


Fig. II, 338. *Acoplamiento elástico «Pomini» tipo 680.*

Fig. II, 339. *Acoplamiento semielástico «Pomini» (despiece).*

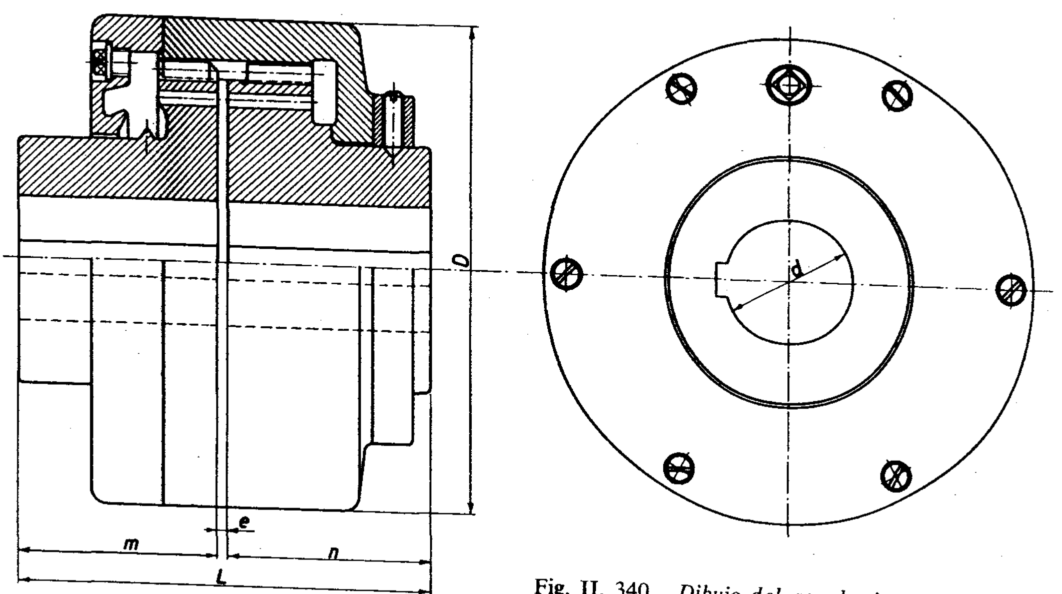


Fig. II, 340. *Dibujo del acoplamiento semielástico «Pomini» (véase la figura anterior 339).*

Depósito de aceite
litro máximo
K
j
E
ø A
ø C
ø N

Fig. II, 341. *Acoplamiento* «Fluidrive». *Es un acoplamiento hidráulico, que consta de dos partes, una de ellas unida al árbol motor y la otra al árbol arrastrado. No hay unión mecánica alguna entre las dos partes. Cuando la parte motriz está en movimiento, funciona como una bomba centrífuga de aceite, al que se comunica la potencia del motor. Este aceite a su vez comunica su potencia a la parte arrastrada del acoplamiento, que funciona como una turbina de aceite. De este modo se consigue un movimiento gradual, elasticidad en la transmisión, eliminación de la influencia perjudicial de las variaciones bruscas de carga, vibraciones, etcétera, y en el caso de aplicarlo a motores eléctricos trifásicos, éstos pueden desarrollar el par máximo, a pesar de la transmisión.*

Tabla 117

Medidas corrientes de un acoplamiento elástico con piezas de goma «Pomini» (fig. 337)

Medidas en mm

d	D	e	L	m	n
10 ÷ 15	60	2	62	30	30
15 ÷ 20	80	3	83	40	40
20 ÷ 25	90	3	103	50	50
25 ÷ 30	100	3	103	50	50
30 ÷ 35	120	3	123	60	60

Tabla 118

Medidas corrientes de un acoplamiento elástico «Pomini» tipo 680 (fig. 338)

Medidas en mm

d	D	e	L	m	n
20 ÷ 25	175	25	105	40	40
30 ÷ 40	230	25	145	60	60
40 ÷ 50	290	30	190	70	70

Tabla 119

Medidas corrientes de un acoplamiento semielástico «Pomini» (fig. 340)

Medidas en mm

d	D	e	L	m	n
30 ÷ 35	150	10	150	70	70
40 ÷ 45	180	10	190	90	90
50 ÷ 55	210	10	210	100	100
60 ÷ 70	245	10	250	120	120
70 ÷ 80	280	10	270	130	130
80 ÷ 90	330	10	270	130	130
90 ÷ 100	360	10	330	160	160
110 ÷ 125	410	10	370	180	180
125 ÷ 140	480	10	390	190	190
140 ÷ 160	560	10	410	220	220
160 ÷ 180	650	10	510	250	250

Tabla 120

Medidas principales del acoplamiento hidráulico «Fluidrive» (fig. 341)

Medidas en mm

A	C	E	J	K	N	Aceite
180	28	125	28	25	110	0,70
210	40	160	45	36	110	1,15
235	40	173	45	39	145	1,70
270	45	198	50	44	145	2,40
310	45	215	50	49	165	3,70
346	55	255	67	60	170	4,80
370	55	270	68	62	190	6,80
420	70	300	76	70	195	10,00
460	70	338	78	78	220	13,30
500	85	367	88	95	220	17,00
570	80	410	89	95	225	25,50
648	100	468	115	120	260	37,00
730	100	559	115	120	260	56,00

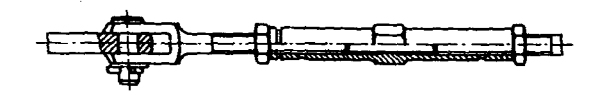
Tabla 121

Medidas principales de un embrague de fricción «Pomini» (fig. 342)

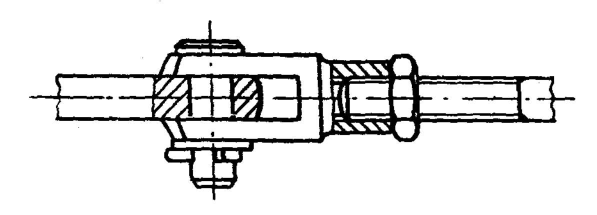
Medidas en mm

d	D	A	Carrera	m	n	e	b
60 ÷ 85	400	450	30	170	130	5	76
70 ÷ 90	450	510	30	180	140	5	80
80 ÷ 115	550	610	40	185	160	5	84
90 ÷ 130	650	720	45	215	180	5	110
100 ÷ 150	750	825	50	235	210	5	130
110 ÷ 160	850	940	60	255	230	5	145
125 ÷ 180	950	1040	75	275	250	5	160
140 ÷ 190	1100	1190	90	300	270	5	160

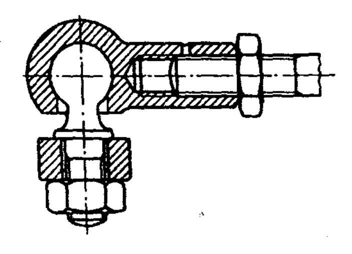
Tabla 122



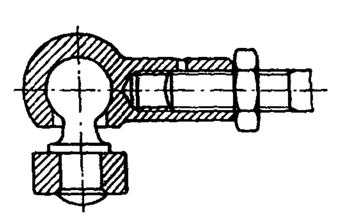
Acoplamientos de horquilla para tirantes de automóviles. Tipo con manguito de regulación. - UNI 1672.



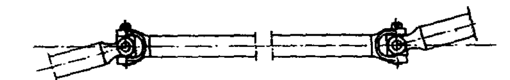
Acoplamientos de horquilla para tirantes de automóviles. Tipo sin manguito de regulación. - UNI 1673.



Acoplamientos de rótula para tirantes de automóviles. Tipo con pasador de cabeza esférica y raíz roscada. - UNI 1678.

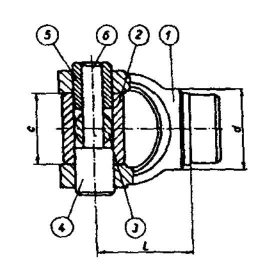


Acoplamientos de rótula para tirantes de automóviles. Tipo con pasador de cabeza esférica y raíz remachada. - UNI 1673.



Transmisiones para maniobras manuales navales. - UNI 1766

Transmisiones para maniobras manuales navales. Juntas cardán. - UNI 1778.



Indicaciones para la designación c	d	L	1 Horquilla UNI 1877	2 Cruz UNI 1884	3 Pasador agujereado UNI 1886	4 Pasador pasante UNI 1887	5 Manguito UNI 1885	6 Pasador de aletas UNI 1336	Tubo de la transmisión UNI 1239	Momento de torsión máximo transmisible m kg
18	20	26	18	18	9	9	9	A 1,5 × 15	20 × 2	2,00
22	25	30	22	22	11	11	11	A 2 × 18	25 × 2	4,00
26	30	36	26	26	13	13	13	A 2 × 20	30 × 2	8,00
32	38	45	32	32	16	16	16	A 2 × 25	38 × 2,5	16,00
40	48	56	40	40	20	20	20	A 3 × 30	47,5 × 2,5	32,00
50	60	69	50	50	25	25	25	A 3 × 40	60 × 3	65,00
60	76	83	60	60	32	32	32	A 4 × 50	76 × 3	125

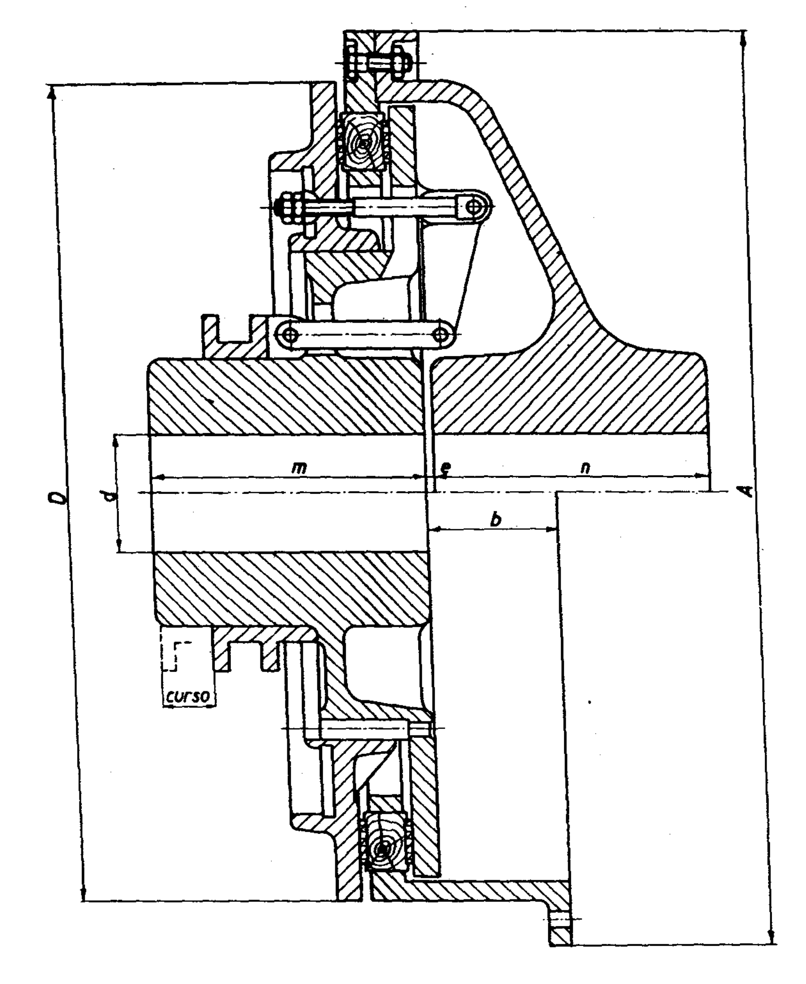


Fig. II, 342. *Embrague de fricción «Pomini».*

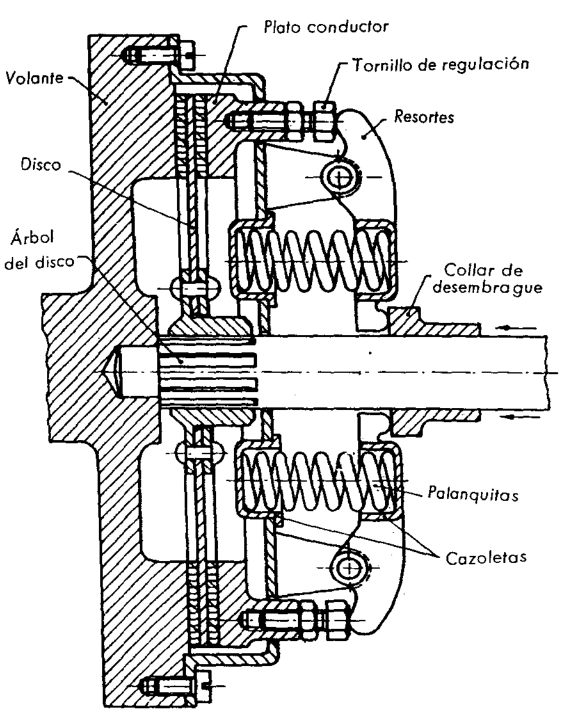


Fig. II, 343. *Embrague de automóvil.*

Capítulo X

SOPORTES - COJINETES RODAMIENTOS

70. Soportes

Ya se ha indicado en el n.° 62 la función fundamental de los soportes. Vamos ahora a ampliar aquellos conceptos.

Algunos autores usan la palabra soporte en sentido muy lato, designando también con esta palabra los cojinetes ajustados a la cabeza de una biela. Aquí consideraremos como soportes solamente los que sostienen en dos o más puntos los árboles de transmisión. Conviene advertir que la forma de los soportes puede ser muy variada: en efecto, algunos forman parte de la bancada de una máquina; otros están aislados y se fijan a las paredes, columnas, etc., según convenga y según su función.

De todos modos, no obstante sus diferencias de estructura, todos los diversos tipos de soportes de que tratamos, presentan el mismo problema: el de sostener un árbol que gira con respecto a su soporte, manteniendo un rozamiento dentro de límites aceptables.

La parte interior del soporte, o sea, la que está en contacto con el árbol, está constituida por lo general, por un cojinete sobrepuesto, que puede ser de deslizamiento o de rodamiento.

En el primer caso, el frotamiento que tiene lugar entre el cojinete y el árbol es la fuerza de rozamiento de que se ha hecho mención en el capítulo IX; en el segundo caso, la resistencia de rozamiento se sustituye por la de rodadura, que es siempre mucho menor.

Trataremos en primer lugar de los cojinetes de deslizamiento, aunque por los límites del presente texto no será posible explicar esta materia con suficiente extensión.

71. Cojinetes de deslizamiento Engrasadores

Para mantener la resistencia de rozamiento dentro de límites admisibles, la parte interior del soporte, sobre la que gira el árbol, está constituida por un cojinete de metal diferente siempre del que constituye el árbol, escogido de modo que presente un coeficiente de rozamiento lo más bajo posible. Cuando el árbol gira a muy poca velocidad se usan, en lugar de cojinetes, piezas de fundición de forma apropiada, entre las cuales gira el árbol. La diferencia entre los metales del árbol y de su asiento de deslizamiento, debidamente lubricado, es suficiente para reducir la resistencia de rozamiento a límites tolerables.

Pero fuera de este caso se emplean los **cojinetes,** cuya estructura ha de ser estudiada convenientemente para que su superficie interna quede perfectamente lubricada, es decir, cubierta de una película de aceite o de grasa apropiados, con objeto de evitar el contacto directo entre la superficie interna del cojinete y la externa del árbol. La figura II, 344 representa un soporte del tipo más sencillo; la figura II, 345 representa su despiece.

Los cojinetes se componen de una o de dos piezas y pueden tener un resalto que los fije en la posición deseada (fig. II, 346-347). La superficie interna de los cojinetes puede tener ranuras longitudinales o en cruz (es decir, en la forma llamada «patas de araña») las cuales, si están trazadas racionalmente, pueden facilitar la lubricación, aun cuando actualmente han surgido serias dudas sobre su utilidad (figs. II, 348-349).

En estos cojinetes, apropiados para árboles de poca velocidad y que ejerzan una presión limitada sobre la superficie de deslizamiento, se efectúa la lubricación con grasa o por goteo de aceite.

Cuando aumenta la velocidad del árbol y su presión unitaria, los cojinetes están revestidos en su su-

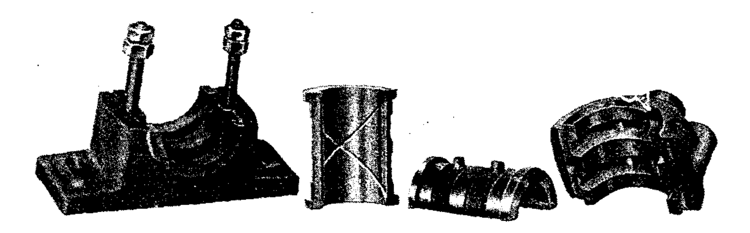


Fig. II, 345. *Despiece del soporte representado en la figura anterior.*

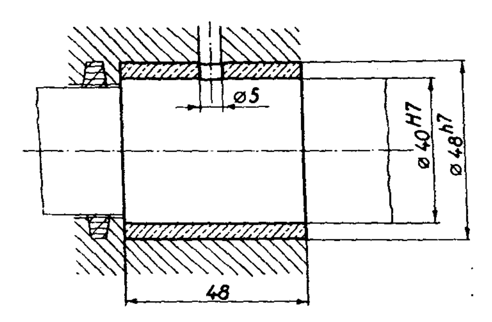


Fig. II, 346. *Cojinete con arandela (de una pieza).*

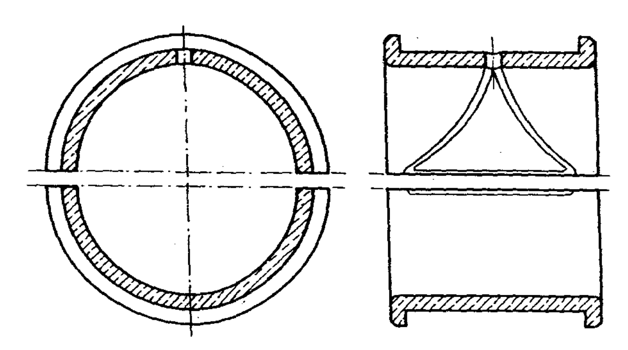
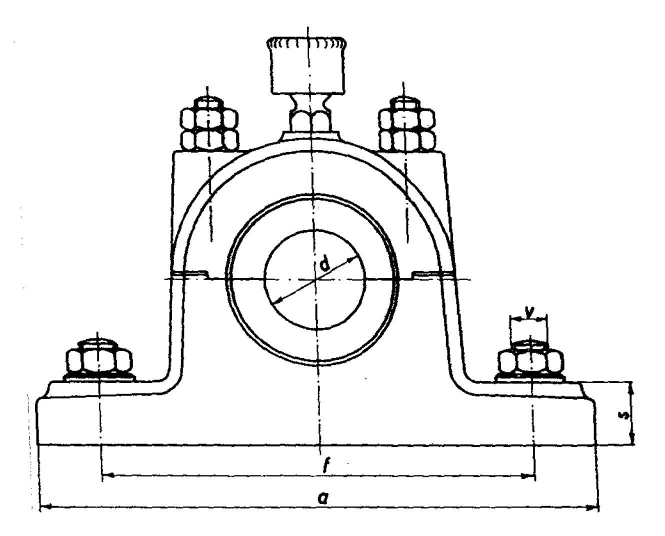


Fig. II, 347. *Cojinete de dos piezas para lubricación con aceite.*



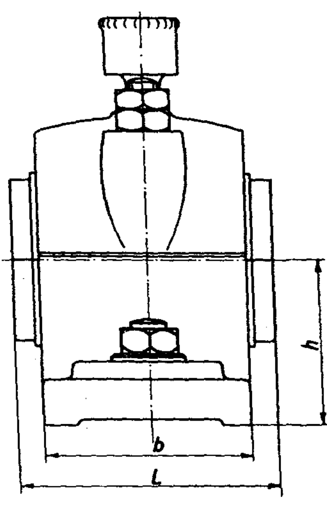


Fig. II, 344. *Tipo sencillo de soporte de grasa.*

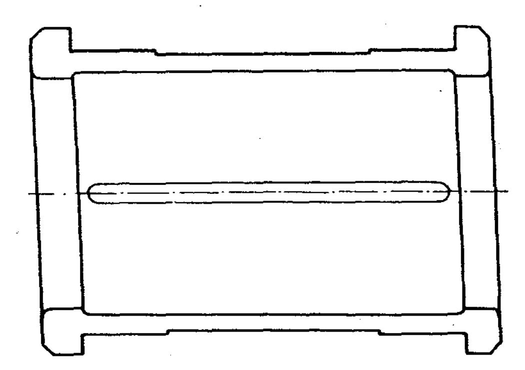


Fig. II, 348. *Cojinete con resaltos para soporte horizontal. Las ranuras longitudinales sirven para la lubricación. Si se lubrica con grasa, las ranuras están en la mitad superior y en la mitad inferior; si con aceite, sólo en la mitad superior.*

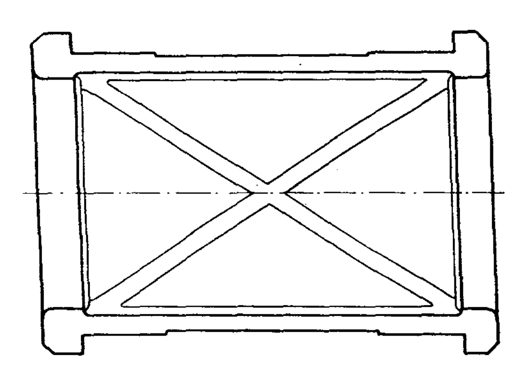


Fig. II 349. *Cojinete con ranuras en cruz (en patas de araña).*

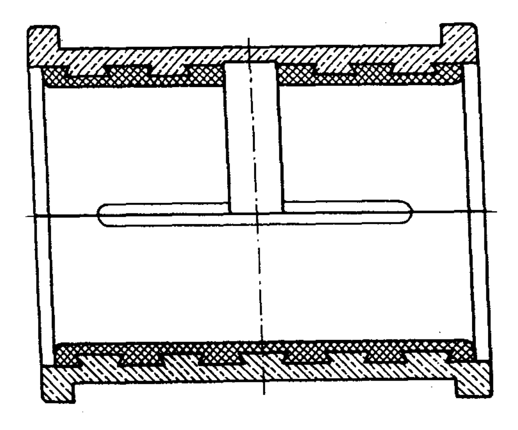


Fig. II, 350. *Cojinete con recubrimiento de metal antifricción. Obsérvese la forma en que el recubrimiento está unido al cojinete. El acoplamiento que se ve en la figura, en cola de milano, es el indicado para soportes de grandes dimensiones y de mucha importancia. En todos los casos, con el fin de mejorar la adherencia entre el metal blanco y las superficies a que se aplica, se dejan éstas con un acabado muy basto, de modo que presenten un elevadísimo grado de aspereza.*

perficie interna de metal antifricción, aleación blanca a base de plomo-antimonio; o estaño-plomo-cobre; o cobre-plomo (cobre plomado). En este caso los cojinetes pueden tener la forma que indica la figura II, 350.

Los recubrimientos de cobre plomado van sobrepuestos; los otros recubrimientos de metal blanco se obtienen vertiendo la aleación en estado líquido en el cojinete y rasqueteando luego la superficie de contacto, una vez fría.

El espesor del recubrimiento varía generalmente entre medio milímetro y poco más de un milímetro.

En las leyendas de las figuras II, 348-350 se exponen los conceptos fundamentales sobre la forma y aplicaciones de las ranuras de lubricación y los recubrimientos de antifricción.

Es evidente que si el árbol presenta un resalto que evite los corrimientos axiales, o bien otras disposiciones que originen una fricción de las partes giratorias contra el cojinete, el recubrimiento se ha de prolongar en forma conveniente sobre los lados del cojinete.

Tienen una especial importancia los soportes y cojinetes cuando de ellos depende el centrado del árbol.

Los soportes para largos árboles de transmisión propiamente dicha se emplean menos cada día, dada la progresiva supresión de dichos árboles, a consecuencia de la tendencia a mover las máquinas por motores individuales. Por este motivo no se tratará a fondo de esta materia.

Los soportes no están unificados; pero conservan en la actualidad las formas tradicionales y se fabrican corrientemente en grandes series por empresas especializadas.

Estos soportes de tipo corriente se diferencian por el sistema de lubricación. La figura II, 344 representa el tipo más sencillo, usual para árboles de poca velocidad y para transmisiones de poca fuerza, con engrasador.

En la tabla 123 se indican las principales medidas de un soporte de este tipo.

La lubricación se realiza por la grasa que llena el engrasador. Al girar el tapón roscado se presiona la grasa que pasando por el agujero adecuado y las ranuras del cojinete asegura la lubricación de las superficies deslizantes.

Los engrasadores están unificados en las tablas **UNI 2658** (engrasadores con tapón roscado); **2659** (engrasadores de muelle); **2660** (engrasadores con obturador de bola para lubricación a presión). En la tabla 124 se han resumido las que tratan de los engrasadores.

Una función parecida a estos engrasadores pueden tener los de aceite, que se emplean no sólo en los soportes aislados, sino también en los montados sobre

Tabla 123

Medidas corrientes de los soportes de grasa (fig. 344) Medidas en mm							
d	L	h	a	b	s	f	v
25 ÷ 30	70	45	150	55	17	115	8
35 ÷ 40	90	60	200	70	20	150	12
45 ÷ 50	100	70	230	80	25	180	14
55 ÷ 60	120	80	260	90	30	200	16
65 ÷ 70	130	95	310	100	33	240	20
75 ÷ 80	150	110	330	110	35	260	22
85 ÷ 90	160	120	370	120	40	290	22
95 ÷ 100	170	130	420	130	45	330	24
105 ÷ 120	180	145	460	140	50	370	24
125 ÷ 140	200	160	520	155	55	420	30

máquinas. Los engrasadores de aceite están unificados en las tablas 2663 a 2679. Los tipos más corrientes se han reunido en la tabla 125.

En otra pequeña tabla se contiene la serie general de capacidades nominales de los engrasadores y accesorios correspondientes (tabla 126 de la **UNI 2657**).

Las figuras II, 351-352 representan el tipo corriente de soporte con lubricación por anillo. Uno o varios anillos pasados en el árbol, vistos en sección en la figura, recogen aceite del cárter; al girar el árbol son arrastrados en rotación lenta y llevan automáticamente el aceite de modo continuo a la parte superior del árbol, desde donde se reparte sobre la superficie que se ha de lubricar. El cojinete oscilante es de fundición; puede ser también de bronce; los anillos son de hierro fundido o de latón.

En la tabla 127 están reunidas las medidas corrientes de un soporte de anillos del tipo que representa la figura II, 351.

Estos soportes se fijan directamente, o mediante **placas** (fig. II, 353), a **silletas de pared** (fig. II, 354). Aún no están unificadas estas piezas, pero en las tablas 128 y 129 se indican sus medidas corrientes.

En el caso de que un árbol de transmisión haya de atravesar una pared, se coloca, en el agujero por donde pasa, una **caja de pared** (fig. II, 355). En la tabla 130 se indican sus medidas.

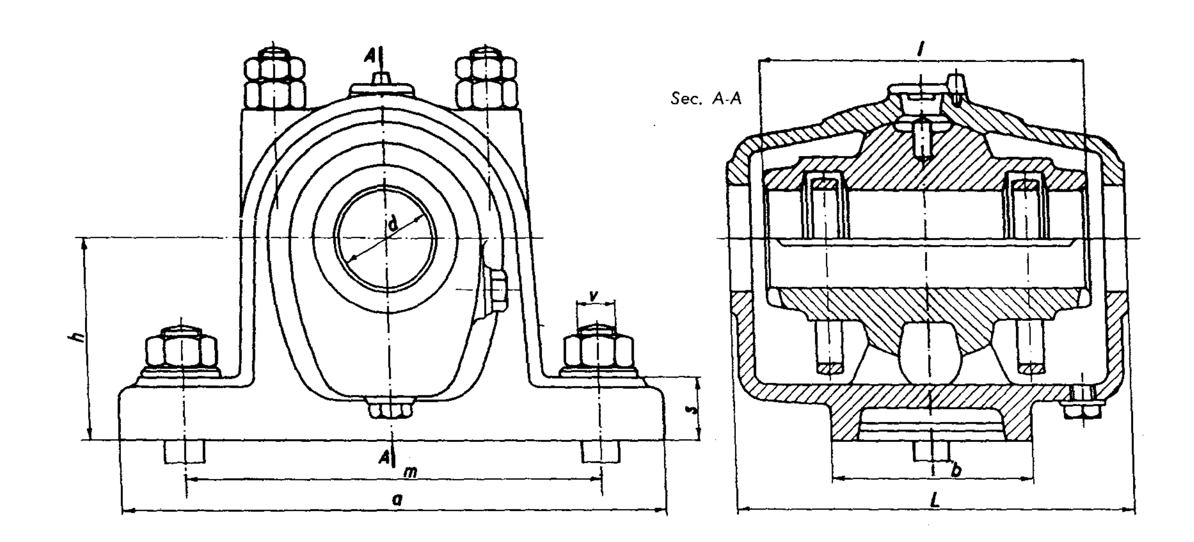


Fig. II, 351. *Soporte corriente con lubricación por anillos*

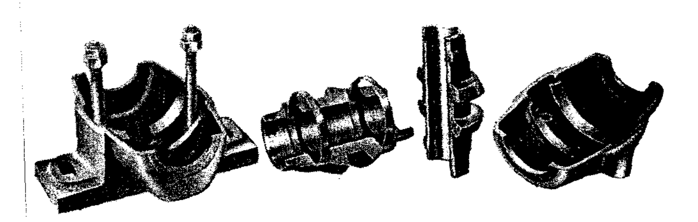
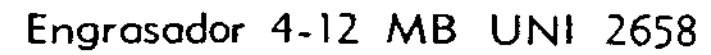


Fig. II, 352. *Despiece del soporte anterior (G. Tagliabue).*

Algunos tipos de engrasadores para lubricación

Engrasadores con tapón roscado (De la tabla UNI 2658)

Ejemplo de designación de un engrasador con tapón roscado, de una capacidad nominal de 25 cm³ y d = 12 **MB**:

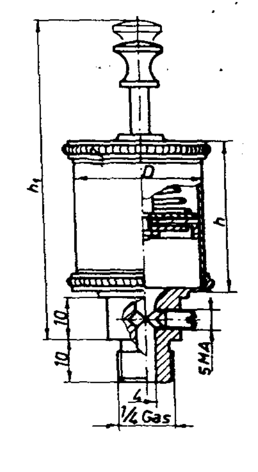

Engrasador 4-12 MB UNI 2658

Medidas en mm

Indicación para la designación			Capacidad nominal cm³	a	b	c	d_1	D	h	h_1	s
N.° característico de la capacidad	d										
00	6 MB	—	1	5,5	4	14	2	14	15	29	7
0	10 MB	1/8 Gas	1,6	7,5	5	15	2,5	18	56	31	10
1	10 BM	1/8 Gas	2,5	8	8	15	3.	23	16	31	14
2	10 BM	1/8 Gas	4	8	8	17	3	25	18	35	14
3	12 BM	1/4 Gas	10	10	10	20	4	34	21	41	17
4	12 BM	1/4 Gas	25	10	10	23	4	45	24	47	17
5	—	1/4 Gas	40	10	10	26	4	54	27	53	17
6	—	1/4 Gas	63	10	10	30	4	65	31	61	17
7	—	3/8 Gas	100	12	12	34	5	74	35	49	22
8	—	3/8 Gas	160	12	12	38	5	85	39	77	22

(De la tabla UNI 2659)

Engrasadores de muelle



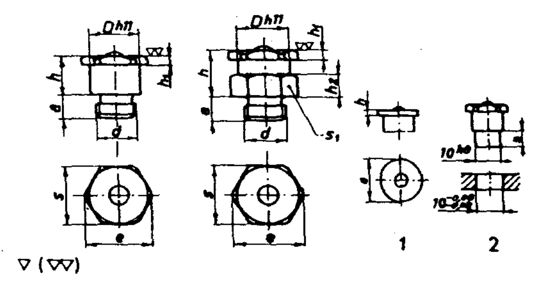
Ejemplo de designación de un engrasador de muelle, de una capacidad nominal de 25 cm³:
Engrasador 4 UNI 2659

Medidas en mm

Indicación para la designación	Capacidad nominal cm³	D	h ~	h_1 ~
3	10	30	36	85
4	25	41,5	50	110
5	40	44,5	56	125
6	63	51	60	130

(De la tabla UNI 2660)

Engrasadores con obturación de bola para lubricación a presión



∇ (∇∇)

Ejemplo de designación de un engrasador con obturación de bola para lubricación a presión tipo B, que tiene d = 10 **MB**:

Engrasador B 10 MB 2660

Medidas en mm

Indicación para la designación				a	D	e	h	h_1	h_2	s	s_1
Tipo	d										
B	6 MA	—	—	4,5	7,5	10	10	$2_{-0,1}^{0}$	3,5	9	10
A	10 MB	1/8 Gas	—	6	12,5	16,5	10	$2,5_{-0,1}^{0}$	—	15	—
B	10 MB	1/8 Gas	1/4 Gas	6	12,5	16,5	12	$2,5_{-0,1}^{0}$	6	15	14

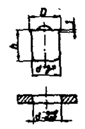
1) Los engrasadores tipo B pueden también tener cabeza de borde circular liso (fig. 1).

2) Los engrasadores tipo A pueden también tener raíz cilíndrica lisa para el montaje prensado (fig. 2).

Tabla 125

Algunos tipos de engrasadores para lubricación con aceite

(De la tabla UNI 2663)



Engrasadores con obturación de bola para montaje prensado

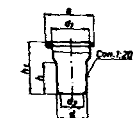
Ejemplo de designación de un engrasador de aceite con obturación de bola, que tiene d=10 mm:

Engrasador 10 UNI 2663

Medidas en mm

Indicación para la designación d	D	h
7	8	8
8	9	9
10	11	11
12,5	13,5	13

(De la tabla UNI 2664)



Engrasadores de embudo para montaje prensado

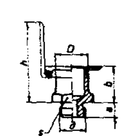
Ejemplo de designación de un engrasador de embudo, que tiene d=7 mm:

Engrasador 7 UNI 2664

Medidas en mm

Indicación para la designación d	a	b	d_1	d_2	h	h_1 ~
7	14	12	10	5	6	14
8	15	13	11	6	8	16
10	18	15	13	7	10	18
12,5	21	18	16	10	13	21

(De la tabla UNI 2665)



Engrasadores con tapa giratoria

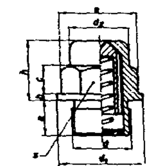
Ejemplo de designación de un engrasador con tapa giratoria, que tiene D=9 mm y d=6 **MA**:

Engrasador 9 × 6 MA UNI 2665

Medidas en mm

Indicación para la designación				a	b	h ~	s
D	d						
9	6 MA	—	—	6	9	20	10
10	10 MB	1/8 Gas*	—	6	10	23	11
13	10 MB	1/8 Gas	1/4 Gas	7	14	30	14

(De la tabla UNI 2669)



Engrasadores de muelle

Ejemplo de designación de un engrasador de muelle, que tiene d=3/8 Gas:

Engrasador 3/8 UNI 2669

Medidas en mm

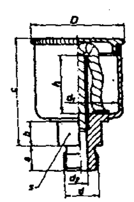
Indicación para la designación	d	a	b	c	d_1	d_2	e	h	s
3/8	3/8 Gas	9,5	2	7,5	24	17,5	21,9	16,5	19
3/4	3/4 Gas	15	5	15	34	25	31,2	30	27

(De la tabla UNI 2671)

Engrasadores de mecha, cilíndricos

Ejemplo de designación de un engrasador de mecha, cilíndrico, de una capacidad nominal de 25 cm³:

Engrasador 4 UNI 2671



Medidas en mm

Indicación para la designación	Capacidad nominal cm³	a	b	c ~	D	d	d_1	d_2	h	s
1	2,5	8	8	29	23	1/8 Gas	17	3,5	14	14
2	4	8	8	29	28	1/8 Gas	22	3,5	14	14
3	10	10	10	40	35	1/4 Gas	28	4,5	22	17
4	25	10	10	47	41	1/4 Gas	35	4,5	28	17
5	40	10	10	54	49	1/4 Gas	40	4,5	35	17
6	63	10	10	62	54	1/4 Gas	45	4,5	43	17
7	100	12	12	67	65	3/8 Gas	55	5	45	22
8	160	12	12	78	73	3/8 Gas	62	5	56	22

Tabla 126

Serie general de las capacidades nominales de los engrasadores y accesorios para la lubricación					
Capacidad nominal cm^3	Indicación para la designación N.º característico de la capacidad	Capacidad nominal cm^3	Indicación para la designación N.º característico de la capacidad	Capacidad nominal cm^3	Indicación para la designación N.º característico de la capacidad
1	00	63	6	1000	13
1,6	0	100	7	1500	14
2,5	1	160	8	2000	15
4	2	250	9	3000	16
10	3	400	10	4000	17
25	4	500	11	5000	18
40	5	750	12	10000	19

Tabla 127

Medidas corrientes de los soportes de anillos (fig. 351)

Medidas en mm

d	l	L	h	a	b	s	m	v
25 ÷ 30	90	110	55	150	55	17	115	10
35 ÷ 40	120	145	70	200	70	20	150	12
45 ÷ 50	150	180	80	230	80	25	180	14
55 ÷ 60	180	210	95	260	90	30	200	16
65 ÷ 70	210	240	105	310	100	33	240	18
75 ÷ 80	240	280	115	330	110	35	260	20
85 ÷ 90	270	310	130	370	120	40	290	22
95 ÷ 100	300	350	145	420	130	45	330	24
105 ÷ 110	330	380	160	460	140	50	370	27
115 ÷ 120	330	380	160	460	140	50	370	27

Tabla 128

Medidas corrientes de las placas de fijacion de los soportes (fig. 353)

Medidas en mm

d	L	l	B	b	H	h	m	v
25 ÷ 30	260	170	70	58	25	23	210	13
35 ÷ 40	340	225	85	72	35	33	275	15
45 ÷ 50	380	250	100	82	35	33	298	17
55 ÷ 60	430	280	110	95	40	38	340	19
65 ÷ 70	500	330	130	110	50	48	400	22
75 ÷ 80	550	350	150	125	55	53	430	25
85 ÷ 90	600	390	160	135	60	55	470	25
95 ÷ 100	650	440	170	145	65	60	520	28
105 ÷ 120	700	480	180	155	70	65	570	28

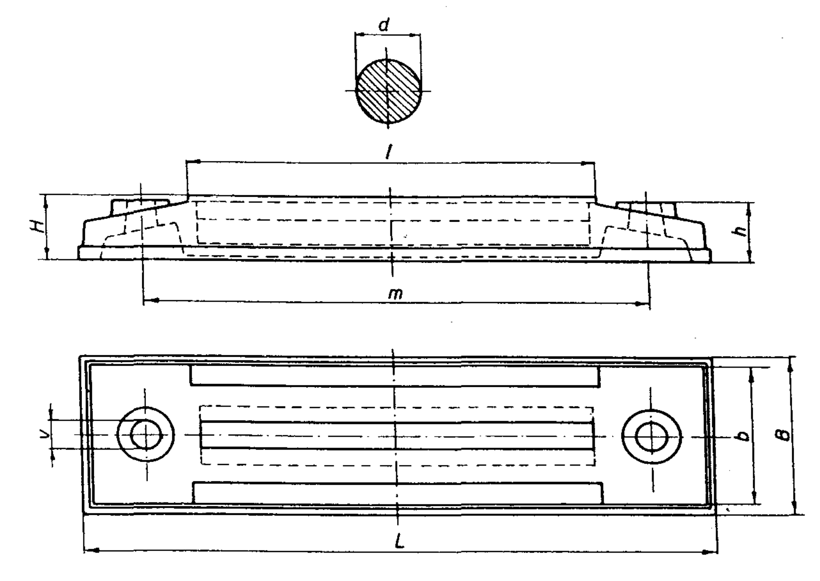


Fig. II, 353. *Placa de asiento para soporte (G. Tagliabue).*

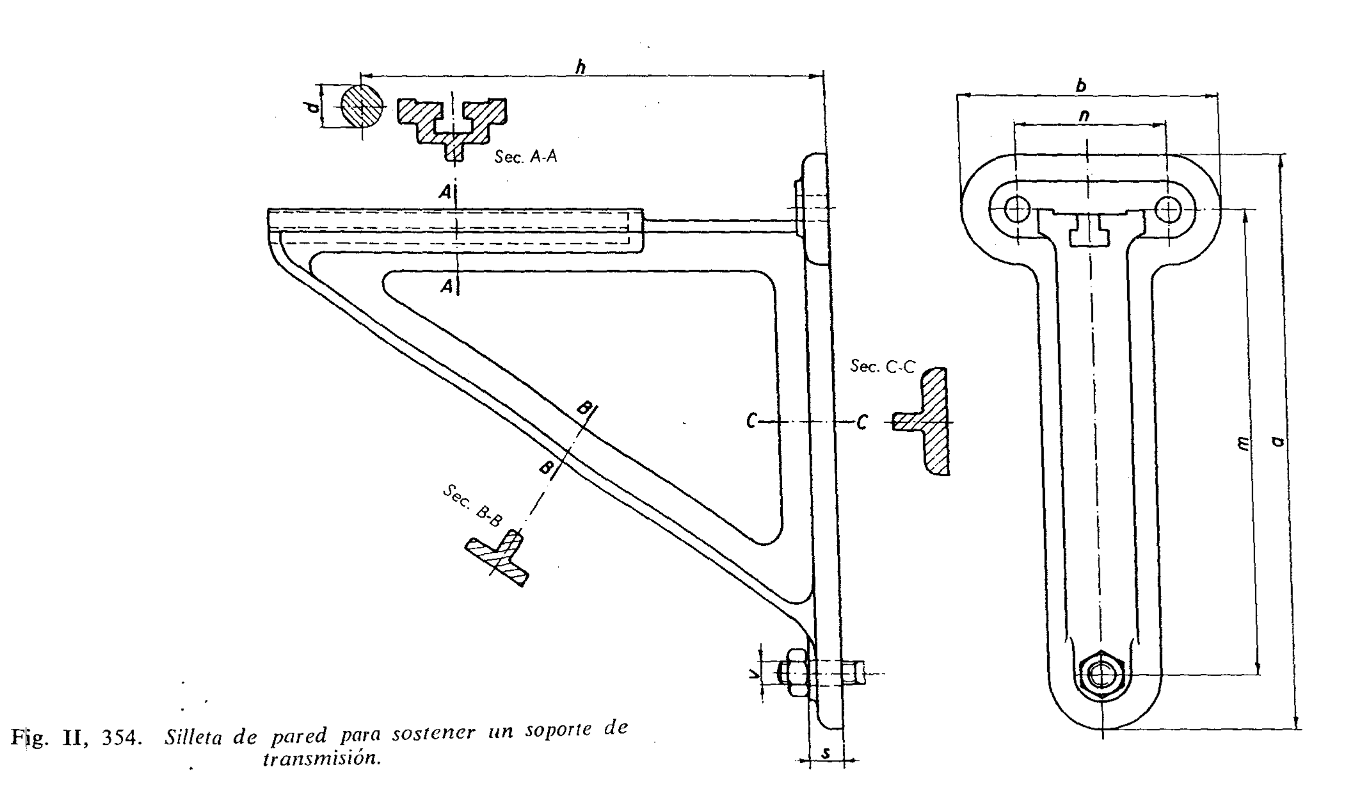


Fig. II, 354. *Silleta de pared para sostener un soporte de transmisión.*

Tabla 129

Medidas corrientes de las silletas de pared (fig. 354) Medidas en mm							
d	h	a	b	s	m	n	v
25 ÷ 30	200-300	310	140	17	250	80	12
	300-400	360	140	17	300	80	12
	400-500	410	140	17	350	80	12
35 ÷ 40	200-300	375	185	20	300	105	14
	300-400	425	185	20	350	105	14
	400-500	475	185	20	400	105	14
45 ÷ 50	200-300	390	210	20	300	120	14
	300-400	440	210	20	350	120	14
	400-500	490	210	20	400	120	14
	500-600	550	210	20	450	120	14
55 ÷ 60	200-300	450	240	23	350	140	19
	300-400	500	240	23	400	140	19
	400-500	550	240	23	450	140	19
	500-600	600	240	23	500	140	19
65 ÷ 70	300-400	510	260	25	400	150	22
	400-500	560	260	25	450	150	22
	500-600	610	260	25	500	150	22
75 ÷ 80	300-400	520	290	30	400	170	25
	400-500	570	290	30	450	170	25
	500-600	620	290	30	500	170	25

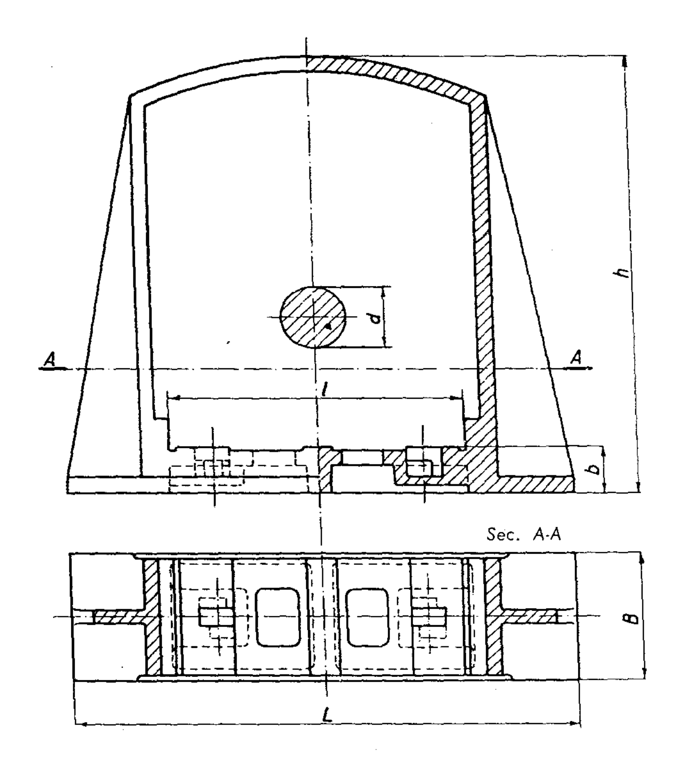


Fig. II. 355. *Caja de pared para una transmisión que haya de atravesar una pared.*

Tabla 130

Medidas corrientes de las cajas de pared (fig. 355) Medidas en mm					
d	h	L	B	b	l
25 ÷ 30	195	245	60	28	165
35 ÷ 40	295	350	75	32	220
45 ÷ 50	315	360	85	40	255
55 ÷ 60	370	400	90	43	275
65 ÷ 70	430	490	105	50	320
75 ÷ 80	430	530	115	55	360
85 ÷ 90	480	580	130	55	405
95 ÷ 100	560	620	140	60	455
105 ÷ 120	620	660	150	65	495

72. Cojinetes de rodamiento

Para sustituir la fricción de rozamiento por la de rodadura, siempre mucho menor, se usaban los cojinetes de rodamiento (fig. II, 356) en lugar de los soportes con cojinetes de deslizamiento. En los cojinetes de rodamiento se obtiene la movilidad de la parte giratoria respecto a la fija, no por deslizamiento relativo, sino por la interposición de piezas de rodamiento, en forma de bolas o de rodillos (cilíndricos o cónicos), piezas que ruedan con pequeñísima fricción sobre superficies adecuadas.

Los soportes para cojinetes de rodamiento tienen la misma estructura que los de cojinetes de deslizamiento anteriormente explicados. En la tabla 131 están indicadas las medidas corrientes del soporte representado en la figura II, 356.

Desde hace unos cuantos años los cojinetes de deslizamiento van siendo reemplazados en muchas aplicaciones por los de rodamiento; y esta sustitución va en aumento, de manera que las máquinas que hace una decena de años llevaban los primeros, están equipadas actualmente con cojinetes de bolas o de rodillos.

Presentan además estos últimos otras muchas ventajas, como son, por ejemplo, el escaso rozamiento en el arranque, menor limitación de la velocidad, ausencia de la necesidad de emplear lubricantes especiales y menor consumo de lubricante; más baja tem-

Tabla 131

Medidas corrientes de un soporte derecha (fig. 356) Medidas en mm									
d_1	A	B_1	E	H	H_1	L	v	s	s_1
20	160	46	120	40	74	66	18	14	28
25	180	52	140	50	91	77	20	14	30
30	180	52	140	50	95	77	22	14	30
35	210	60	170	60	110	85	22	14	30
40	210	60	170	60	113	85	25	14	30
45	210	60	170	60	115	85	25	14	30
50	270	70	210	70	130	95	25	19	34
55	270	70	210	70	135	105	30	19	34
60	290	80	230	80	152	110	30	19	34
65	290	80	230	80	157	115	30	19	34
70	320	90	260	95	177	120	32	23	42

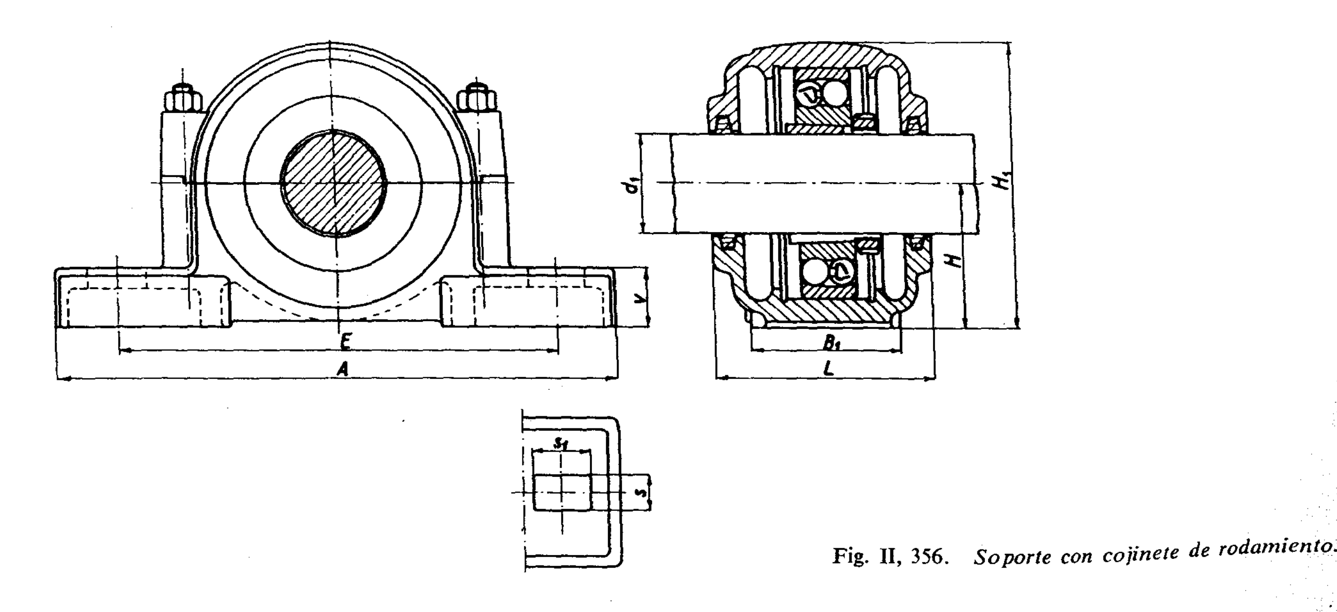


Fig. II, 356. *Soporte con cojinete de rodamiento.*

peratura de funcionamiento a régimen normal, como consecuencia del menor rozamiento; menor tamaño a igualdad de carga admisible y, finalmente, aunque no de menos importancia, el reducidísimo desgaste de funcionamiento y la facilidad y rapidez de recambio.

Daremos en primer lugar algunas ideas generales, todas de la mayor importancia, sobre los cojinetes de rodamiento en general.

Desde el punto de vista de su función cinemática, pueden dividirse en tres categorías:

1) *Cojinetes para cargas radiales* (fig. II, 357). Están construidos para soportar preferentemente cargas dirigidas en sentido perpendicular al eje de rotación. La carga radial origina reacciones de los apoyos en sentido también radial, como se ve en la figura.

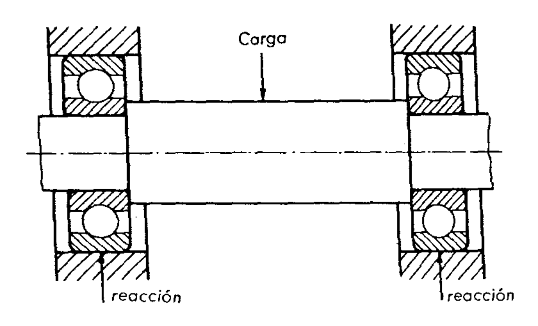


Fig. II, 357. *Cojinetes para cargas radiales. La carga se descompone sobre los dos soportes, originando dos reacciones en dirección radial; por lo tanto no hay componentes axiales de la carga.*

2) *Cojinetes para cargas axiales* (fig. II, 358). Pueden soportar únicamente cargas que actúen según el eje de rotación. La carga produce reacciones en la dirección y sentido que demuestra la figura. Para cargas axiales sólo se utilizan cojinetes de bolas.

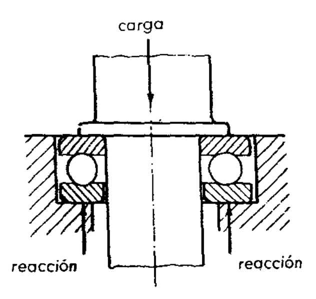


Fig. II, 358. *Cojinete para carga axial. La carga no tiene componente radial.*

3) *Cojinetes para cargas mixtas* (fig. II, 359). Las cargas tienen dos componentes, una según el eje de rotación y otra perpendicular al mismo. Como se ve en la figura, uno de los dos cojinetes ha de soportar el empuje axial, mientras que los dos soportan la componente radial, dando cada uno su propia reacción.

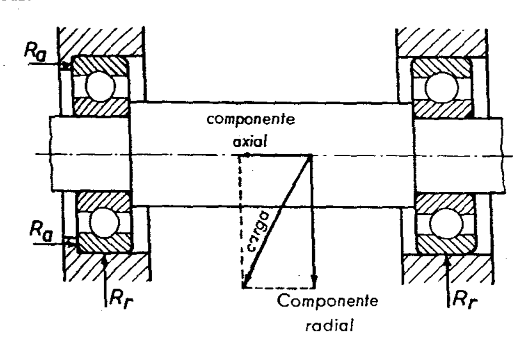


Fig. II, 359. *Cojinete para carga mixta. La carga tiene componente radial y axial del mismo orden de magnitud. Por lo tanto se producen recciones radiales* $\mathbf{R}_r$ *y reacciones axiales* $\mathbf{R}_a$.

Se presenta una clasificación de los cojinetes en las tablas 132 y 133, sacadas de las tablas UNI sobre cojinetes, muchas de ellas de reciente publicación (junio de 1959); en dichas tablas se indican además, para cada tipo, los números de la tabla UNI de referencia.

Téngase presente, sin embargo, que si se desean más detalles sobre los cojinetes de rodamiento, es muy conveniente consultar los catálogos generales y los folletos y opúsculos especiales editados por las principales fábricas de cojinetes.

De todos modos, y ésta es una observación de importancia capital, puesto que están unificadas las medidas exteriores de los cojinetes de rodamiento y fijadas las tolerancias, la aplicación de los cojinetes de rodamiento no requiere ningún mecanizado de sus asientos, siendo suficiente el acabado ordinario de la fabricación en serie que permite asegurar su intercambiabilidad.

Es obvio que al dibujante le interesan principalmente las medidas exteriores de los cojinetes, porque son las que figuran en los dibujos; por esto se han indicado convenientemente en las tablas 134, 135, 136 y 137, las medidas exteriores de los diferentes tipos de cojinetes.

Mientras se imprimía el presente texto, publicó el UNI otras muchas tablas sobre cojinetes de rodamiento, según las unificaciones resultantes de los trabajos de la ISO. Algunas de estas tablas han sustituido otras tantas tablas que estaban aún en vigor: lo cual se ha podido tener en cuenta al confeccionar las tablas 133, 134 y 135 de este texto, si bien de modo incompleto, debido a que las nuevas tablas establecían algunas medidas unificadas que no estaban incluidas en las unificaciones anteriores, por lo que no se han podido insertar en las tablas que ya estaban compuestas.

Otras de estas nuevas tablas se refieren a la unificación de tipos de cojinetes de rodamiento que no

Cojinetes radiales (portantes)

Denominación		Representación esquemática	Serie de tipos unificados	Tablas UNI de referencia	Caracteristicas de empleo
Cojinetes radiales de bolas, rígidos	De una hilera de bolas		Serie extraligera estrecha	UNI 3064	Son cojinetes de canal profundo; no tienen corte para introducir las bolas. Tienen gran capacidad de carga radial y soportan bien las cargas axiales, especialmente a **elevada velocidad**, por lo que pueden muchas veces sustituir los cojinetes axiales. Son, pues, apropiados para cargas de cualquier dirección.
			Serie extraligera ancha	UNI 4473	
			Serie ligera	UNI 4203	
			Serie media	UNI 4204	
			Serie pesada	UNI 4472	
	De una hilera de bolas con arandela de protección		Serie ligera	UNI 3066	Como los anteriores, pero protegidos en uno o los dos lados, contra el polvo, desperdicios, etc. Retienen además el lubricante.
			Serie media	UNI 3067	
	De una hilera de bolas para husillos		Serie ligera	UNI 4209	Como los anteriores, pero de más precisión, no teniendo prácticamente juego. Los aros se han de montar con empuje suave. Pueden también emplearse acoplados, pero con dispositivos para mantener su separación, a fin de asegurar la repartición uniforme de la carga.
			Serie media	UNI 4210	
	De dos hileras de bolas		Serie ligera	UNI 609	Pueden tener o no el corte para la introducción de las bolas. En el primer caso sólo sirven para cargas radiales; en el segundo se pueden emplear para cargas de cualquier dirección.
			Serie media	UNI 610	
			Serie pesada	UNI 611	
	De una hilera de bolas; con aro exterior desmontable (llamados «para magnetos»)		Para magnetos	UNI 612	Desmontables, con portabolas y aros intercambiables. Utilizables solamente acoplados, para cargas radiales pequeñas y cargas axiales de sentido constante; velocidades medias.
Cojinetes radiales de bolas, oscilantes	De dos hileras de bolas		Serie ligera	UNI 4477	Por ser esférico el camino de rodamiento común del aro exterior, pueden autoalinearse libremente, por lo que están indicados cuando se prevean defectos de alineación. Se emplean sólo para cargas radiales y velocidades medias, excepto los de la serie ancha que consienten cargas axiales pequeñísimas y velocidades muy altas.
			Serie media ancha	UNI 4479	
			Serie media	UNI 4478	
			Serie media ancha	UNI 4480	
			Serie pesada	UNI 617	
Cojinetes radiales de rodillos, rígidos	Con pestañas sobre el aro interior		Serie ligera	UNI 4213	Sólo para cargas radiales. Los rodillos están guiados por: a) dos resaltos, aro desmontable en los dos sentidos. b) tres resaltos, dos sobre un aro y uno sobre el otro; el tercero puede estar formado por un aro suplementario; desmontables sólo en un sentido. c) cuatro resaltos, tres sobre los aros, el cuarto sobre un aro suplementario; pueden soportar pequeños empujes axiales, especialmente si son intermitentes. El árbol puede ajustarse en dirección axial.
			Serie media	UNI 4214	
			Serie pesada	UNI 620	
	Con pestañas sobre el aro exterior		Serie ligera	UNI 4215	
			Serie ligera ancha	UNI 4216	
			Serie media	UNI 4217	
			Serie ligera ancha	UNI 4218	
			Serie pesada	UNI 626	

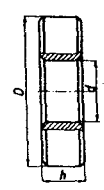
Cojinetes radiales (portantes)

Denominación		Representación esquemática	Serie de tipos unificados	Tablas UNI de referencia	Características de empleo
Cojinetes radiales de rodillos, de barrilete, oscilantes	De dos hileras de rodillos de barrilete		Serie ligera	UNI 4481	No soportan cargas axiales, sino **solamente radiales**, dado que el eje de rotación de los rodillos es paralelo al del cojinete. Empleados para soportes independientes y cuando sea previsible alguna flexión del árbol o una alineación deficiente.
			Serie media	UNI 4482	
			Serie pesada	UNI 4483	
	De una hilera de rodillos de barrilete		Serie ligera ancha	UNI 4489	Por estar los ejes de rotación un poco inclinados (en sentido opuesto para las dos series de rodillos) respecto al eje del cojinete, soportan también pequeñas cargas axiales. Son autoalineables en caso de moderado defecto de alineación.
			Serie media ancha	UNI 4487	
Cojinetes radiales de bolas, con casquillo de calado, rígidos	(De agujerc cónico)		Serie ligera	UNI 629	Siendo cónico el agujero, se montan sobre árboles cónicos, sin resaltos; con frecuencia se montan con manguitos de calado. Dado el sistema de montaje no son aptos para aplicaciones de gran precisión.
Cojinetes radiales de bolas, con casquillo de calado, oscilantes	(De agujero cónico)		Serie ligera	UNI 630	Semejantes a los anteriores, pero a rótula, y por lo mismo indicados para aplicaciones en las que sea previsible una alineación defectuosa.
			Serie ligera ancha	UNI 631	
			Serie media	UNI 632	
			Serie media ancha	UNI 633	
Cojinetes radiales de rodillos, de barrilete, con casquillo de calado, oscilantes	De una hilera de rodillos de barrilete		Serie ligera	UNI 3075	El agujero es cónico; tienen las mismas características de empleo que la primera serie de esta tabla (3070-72), pero pueden montarse sobre árboles cónicos, sin resalto.
			Serie media	UNI 3076	
			Serie pesada	UNI 3077	
	De dos hileras de rodillos de barrilete		Serie ligera ancha	UNI 3078	Tienen las mismas características que la segunda serie de esta tabla (3073-3074); pero el agujero es cónico y pueden montarse sobre árboles cónicos, sin resalto.
			Serie media ancha	UNI 3079	
Cojinetes radiales de agujas	Con aro interior		Con aro interior	UNI 3080	**Soportan únicamente cargas radiales.** Se emplean en sustitución de los otros tipos cuando hay poco espacio disponible.
	Con aro exterior		Sin aro interior	UNI 3081	Como los anteriores, pero sin aro interior, por lo que las agujas se apoyan directamente sobre la superficie exterior del árbol.

Cojinetes para empujes oblicuos   Cojinetes axiales (de empuje)

Denominación		Representación esquemática	Serie de tipos modificados	Tablas UNI de referencia	Características de empleo
Cojinetes de bolas para empujes oblicuos	De una hilera de bolas		Serie ligera	UNI 3082	Dada la forma de los asientos, las cargas oblicuas pueden ser elevadas. Cuando sólo hay cargas radiales, se instalan acoplados, con orientación opuesta, a fin de neutralizar los empujes axiales que se producen en cada cojinete.
			Serie media	UNI 3083	
	De dos hileras de bolas		Serie ligera	UNI 4211	Para cargas radiales elevadas: un solo cojinete funciona como el par de cojinetes del grupo anterior.
			Serie media	UNI 4212	
Cojinetes de rodillos cónicos			Serie ligera	UNI 4219	Apropiados para fuertes cargas oblicuas, con velocidades moderadas. Las conicidades de los asientos y de los rodillos han sido estudiadas para dar un buen funcionamiento desde el punto de vista cinemático. Para cargas radiales deben instalarse acoplados en sentido opuesto para neutralizar el empuje axial que se produce inevitablemente.
			Serie ligera ancha	UNI 4220	
			Serie media	UNI 4221	
			Serie media ancha	UNI 4222	
Cojinetes axiales de bolas, sencillos	De asiento plano		Serie extraligera	UNI 640	El rodamiento tiene lugar sobre aros planos con canales. Apropiados para cargas **exclusivamente axiales y dirigidas en un solo sentido.** El plano de rodamiento ha de ser exactamente perpendicular al eje de rotación.
			Serie ligera	UNI 641	
			Serie media	UNI 642	
			Serie pesada	UNI 643	
	De asiento esférico con contraplaca de apoyo		Serie ligera	UNI 644	Como los anteriores; pero la superficie exterior esférica de uno de los aros permite su empleo aun cuando no sea exacta la perpendicularidad del eje.
			Serie media	UNI 646	
			Serie pesada	UNI 647	
Cojinetes axiales de bolas, dobles	De asientos planos		Serie ligera	UNI 648	Como los anteriores de asiento plano; su doble hilera de bolas les permite resistir fuertes cargas en ambos sentidos. El eje de rotación debe ser rigurosamente perpendicular al plano de apoyo del aro fijo. Si se montan sobre árboles horizontales, se aconseja la aplicación de muelles que, al presionar los aros sobre las bolas, eviten que éstas se separen de su asiento.
			Serie media	UNI 649	
			Serie pesada	UNI 650	
	De asientos esféricos con contraplacas de apoyo		Serie ligera	UNI 651	Como los anteriores, pero por su asiento esférico, pueden también emplearse aunque el eje no sea perfectamente perpendicular al plano de apoyo. Si se montan sobre árboles horizontales, se recomienda también, como en el caso anterior, el empleo de muelles.
			Serie media	UNI 652	
			Serie pesada	UNI 653	

Cojinetes radiales
(de apoyo)

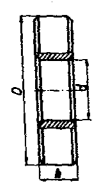


Medidas exteriores

Medidas en mm

UNI	3064		4473		4203		4204		4472		3066		3067		4209		4210		609		610		611		612	
d	D	h	D	h	D	h	D	h	D	h	D	h	D	h	D	h	D	h	D	h	D	h	D	h	D	h
5	16	5	—	—	19	6	—	—	—	—	19	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16	5
6	19	6	—	—	—	—	—	—	—	—	19	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21	7
8	—	—	22	7	—	—	—	—	—	—	22	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	24	7
10	—	—	26	8	30	9	35	11	—	—	30	9	35	11	30	9	35	11	30	14	35	17	—	—	28	8
12	—	—	28	8	32	10	37	12	—	—	32	10	37	12	32	10	37	12	32	14	37	17	—	—	32	7
16	32	8	32	9	35	11	42	13	—	—	35	11	42	13	35	11	42	13	35	14	42	17	—	—	35	8
17	35	8	35	10	40	12	47	14	62	17	40	12	47	14	40	12	47	14	40	16	47	19	62	29	44	11
20	42	8	42	12	47	14	52	15	72	19	47	14	52	15	47	14	52	15	47	18	52	21	72	33	47	12
25	47	8	47	12	52	15	62	17	80	21	52	15	62	17	52	15	62	17	52	18	62	24	80	36	—	—
30	55	9	55	13	62	16	72	19	90	23	62	16	72	19	62	16	72	19	62	20	72	27	90	40	—	—
35	62	9	62	14	72	17	80	21	100	25	72	17	80	21	72	17	80	21	72	23	80	31	100	43	—	—
40	68	9	68	15	80	18	90	23	110	27	80	18	90	23	80	18	90	23	80	23	90	33	110	46	—	—
45	75	10	75	16	85	19	100	25	120	29	85	19	100	25	85	19	100	25	85	23	100	36	120	50	—	—
50	80	10	80	16	90	20	110	27	130	31	90	20	110	27	90	20	110	27	90	23	110	40	130	53	—	—
55	90	11	90	18	100	21	120	29	140	33	100	21	120	29	100	21	120	29	100	25	120	43	140	57	—	—
60	95	11	95	18	110	22	130	31	150	35	110	22	130	31	110	22	130	31	110	28	130	46	150	60	—	—
65	100	11	100	18	120	23	140	33	160	37	120	23	140	33	120	23	140	33	120	31	140	48	160	64	—	—
70	110	13	110	20	125	24	150	35	180	42	125	24	150	35	125	24	150	35	125	31	150	51	180	74	—	—
75	115	13	115	20	130	25	160	37	190	45	130	25	160	37	130	25	160	37	130	31	160	55	190	77	—	—
80	125	14	125	22	140	26	170	39	200	48	140	26	170	39	140	26	170	39	140	33	170	58	200	80	—	—
85	130	14	130	22	150	28	180	41	210	52	150	28	180	41	150	28	180	41	150	36	180	60	210	86	—	—
90	140	16	140	24	160	30	190	43	225	54	160	30	190	43	160	30	190	43	160	40	190	64	225	90	—	—
95	145	16	145	24	170	32	200	45	240	55	170	32	200	45	—	—	—	—	170	43	200	67	240	95	—	—
100	150	16	150	24	180	34	215	47	250	58	180	34	215	47	—	—	—	—	180	46	215	73	250	98	—	—
105	160	18	160	26	190	36	225	49	260	60	190	36	225	49	—	—	—	—	190	50	225	77	260	100	—	—
110	170	19	170	28	200	38	240	50	280	65	200	38	240	50	—	—	—	—	200	53	240	80	280	108	—	—
120	180	19	180	28	215	40	260	55	310	72	—	—	—	—	—	—	—	—	215	58	260	86	310	118	—	—
130	200	22	200	33	230	40	280	58	340	78	—	—	—	—	—	—	—	—	230	64	280	93	340	128	—	—
140	210	22	210	33	250	42	300	62	360	82	—	—	—	—	—	—	—	—	250	68	300	102	360	132	—	—
150	225	24	225	35	270	45	320	65	380	85	—	—	—	—	—	—	—	—	270	73	320	108	380	138	—	—

Cojinetes radiales (continuación)
(de apoyo)

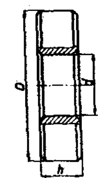


Medidas exteriores

Medidas en mm

UNI	4447		4479		4478		4480		617		4213		4214		620		4215		4216		4217		4218		626	
d	D	h	D	h	D	h	D	h	D	h	D	h	D	h	D	h	D	h	D	h	D	h	D	h	D	h
5	19	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	22	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	26	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	30	9	30	14	35	11	35	17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	32	10	32	14	37	12	37	17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15	35	11	35	14	42	13	42	17	—	—	35	11	42	13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17	40	12	40	16	47	14	47	19	62	17	40	12	47	14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	47	14	47	18	52	15	52	21	72	19	47	14	52	15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25	52	15	52	18	62	17	62	24	80	21	52	15	62	17	80	21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30	62	16	62	20	72	19	72	27	90	23	62	16	72	19	90	23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
35	72	17	72	23	80	21	80	31	100	25	72	17	80	21	100	25	72	17	72	23	80	21	80	31	100	25
40	80	18	80	23	90	23	90	33	110	27	80	18	90	23	110	27	80	18	80	23	90	23	90	33	110	27
45	85	19	85	23	100	25	100	36	120	29	85	19	100	25	120	29	85	19	85	23	100	25	100	36	120	29
50	90	20	90	23	110	27	110	40	130	31	90	20	110	27	130	31	90	20	90	23	110	27	110	40	130	31
55	100	21	100	25	120	29	120	43	140	33	100	21	120	29	140	33	100	21	100	25	120	29	120	43	140	33
60	110	22	110	28	130	31	130	46	150	35	110	22	130	31	150	35	110	22	110	28	130	31	130	46	150	35
65	120	23	120	31	140	33	140	48	160	37	120	23	140	33	160	37	120	23	120	31	140	33	140	48	160	37
70	125	24	125	31	150	35	150	51	180	42	125	24	150	35	180	42	125	24	125	31	150	35	150	51	180	42
75	130	25	130	31	160	37	160	55	190	45	130	25	160	37	190	45	130	25	130	31	160	37	160	55	190	45
80	140	26	140	33	170	39	170	58	200	48	140	26	170	39	200	48	140	26	140	33	170	39	170	58	200	48
85	150	28	150	36	180	41	180	60	210	52	150	28	180	41	—	—	150	28	150	36	180	41	180	60	210	52
90	160	30	160	40	190	43	190	64	225	54	160	30	190	43	—	—	160	30	160	40	190	43	190	64	225	54
95	170	32	170	43	200	45	200	67	240	55	170	32	—	—	—	—	170	32	170	43	200	45	200	67	240	55
100	180	34	180	46	215	47	215	73	250	58	180	34	—	—	—	—	180	34	180	46	215	47	—	—	250	58
105	190	36	190	50	225	49	225	77	260	60	—	—	—	—	—	—	190	36	190	50	225	49	—	—	260	60
110	200	38	200	53	240	50	240	80	280	65	—	—	—	—	—	—	200	38	200	53	240	50	—	—	280	65
120	215	42	215	58	260	55	260	86	310	72	—	—	—	—	—	—	215	40	—	—	260	55	—	—	—	—
130	230	46	230	64	280	58	280	93	340	78	—	—	—	—	—	—	230	40	—	—	280	58	—	—	—	—
140	250	50	250	68	300	62	300	102	360	82	—	—	—	—	—	—	250	42	—	—	300	62	—	—	—	—
150	270	54	270	73	320	67	320	108	380	85	—	—	—	—	—	—	270	45	—	—	—	—	—	—	—	—

Cojinetes radiales (continuación)
(de apoyo)

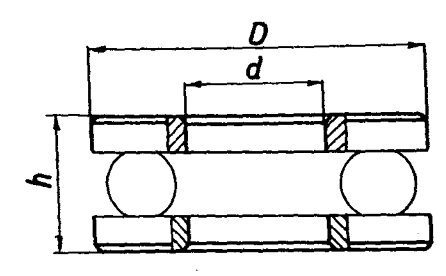


Medidas exteriores

Medidas en mm

UNI	4481		4482		4483		4489		4487		3080		3081		4475		4476		4211		4212	
d	D	h	D	h	D	h	D	h	D	h	D	h	D	h	D	h	D	h	D	h	D	h
10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	30	9	35	11	30	14,0	—	—
12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	32	10	37	12	32	15,9	—	—
15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	35	11	42	13	35	15,9	42	19,0
17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	37	20	37	20	40	12	47	14	40	17,5	47	22,2
20	—	—	52	15	—	—	—	—	—	—	42	20	42	20	47	14	52	15	47	20,6	52	22,2
25	52	15	62	17	80	21	52	18	—	—	47	22	47	22	52	15	62	17	52	20,6	62	25,4
30	62	16	72	19	90	23	62	20	—	—	52	22	52	22	62	16	72	19	62	23,8	72	30,2
35	72	17	80	21	100	25	72	23	—	—	58	22	58	22	72	17	80	21	72	27,0	80	34,9
40	80	18	90	23	110	27	80	23	90	33	65	22	65	22	80	18	90	23	80	30,2	90	36,5
45	85	19	100	25	120	29	85	23	100	36	72	22	72	22	85	19	100	25	85	30,2	100	39,7
50	90	20	110	27	130	31	90	23	110	40	80	28	80	28	90	20	110	27	90	30,2	110	44,4
55	100	21	120	29	140	33	100	25	120	43	85	28	85	28	100	21	120	29	100	33,3	120	49,2
60	110	22	130	31	150	35	110	28	130	46	90	28	90	28	110	22	130	31	110	36,5	130	54,0
65	120	23	140	33	160	37	120	31	140	48	95	28	95	28	120	23	140	33	120	38,1	140	58,7
70	125	24	150	35	180	42	125	31	150	51	100	28	100	28	125	24	150	35	125	39,7	150	63,5
75	130	25	160	37	190	45	130	31	160	55	110	32	110	32	130	25	160	37	130	41,3	160	68,3
80	140	26	170	39	200	48	140	33	170	58	115	32	115	32	140	26	170	39	140	44,4	170	68,3
85	150	28	180	41	210	52	150	36	180	60	120	32	120	32	150	28	180	41	150	49,2	180	73,0
90	160	30	190	43	225	54	160	40	190	64	125	32	125	32	160	30	190	43	160	52,4	190	73,0
95	170	32	200	45	—	—	170	43	200	67	130	32	130	32	170	32	200	45	170	55,6	200	77,8
100	180	34	215	47	—	—	180	46	215	73	135	32	135	32	180	34	215	47	180	60,3	215	82,6
105	190	36	225	49	—	—	190	50	225	77	—	—	—	—	190	36	225	49	190	65,1	225	87,3
110	200	38	240	50	—	—	200	53	240	80	150	40	150	40	200	38	240	50	200	69,8	240	92,1
120	215	40	260	55	—	—	215	58	260	86	160	40	160	40	—	—	—	—	—	—	—	—
130	230	40	280	58	—	—	230	64	280	93	180	52	180	52	—	—	—	—	—	—	—	—
140	250	42	300	62	—	—	250	68	300	102	190	52	190	52	—	—	—	—	—	—	—	—
150	270	45	320	65	—	—	270	73	320	108	200	52	200	52	—	—	—	—	—	—	—	—
160	—	—	—	—	—	—	290	80	340	114	210	52	210	52	—	—	—	—	—	—	—	—
170	—	—	—	—	—	—	310	86	360	120	230	65	230	65	—	—	—	—	—	—	—	—

Cojinetes axiales
(de empuje)

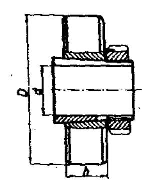


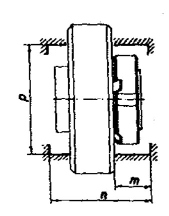
Medidas exteriores

Medidas en mm

UNI	4493		4494		4495		4496		644		646		647		4490		4491		4492		651		652		653	
d	D	h	D	h	D	h	D	h	D	h	D	h	D	h	D	h	D	h	D	h	D	h	D	h	D	h
10	24	9	26	11	—	—	—	—	26	9,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	26	9	28	11	—	—	—	—	28	9,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15	28	9	32	12	—	—	—	—	32	11	—	—	—	—	32	22	—	—	—	—	32	20	—	—	—	—
17	30	9	35	12	—	—	—	—	35	11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	35	10	40	14	—	—	—	—	40	12	—	—	—	—	40	26	—	—	—	—	40	22	—	—	—	—
25	42	11	47	15	52	18	60	24	47	13,5	52	16	60	21	47	28	52	34	60	45	47	25	52	30	60	39
30	47	11	53	16	60	21	70	28	53	14,5	60	18	70	24	53	29	60	38	70	52	53	26	60	32	70	44
35	53	12	62	18	68	24	80	32	62	15	68	20,5	80	27	62	34	68	44	80	59	62	28	68	37	80	49
40	60	13	68	19	78	26	90	36	68	16	78	22,5	90	30	68	36	78	49	90	65	68	30	78	42	90	53
45	65	14	73	20	85	28	100	39	73	16,5	85	23	100	33,5	73	37	85	52	100	72	73	30	85	42	100	61
50	70	14	78	22	95	31	110	43	78	18,5	95	26	110	36	78	39	95	58	110	78	78	32	95	48	110	64
55	78	16	90	25	105	35	120	48	90	21	105	30,5	120	39,5	90	45	105	64	120	87	90	37	105	55	120	70
60	85	17	95	26	110	35	130	51	95	22	110	30,5	130	42	95	46	110	64	130	93	95	38	110	55	130	75
65	90	18	100	27	115	36	140	56	100	23	115	30,5	140	47,5	100	47	115	65	140	101	100	39	115	54	140	84
70	95	18	105	27	125	40	150	60	105	23	125	35	150	49,5	105	47	125	72	150	107	105	39	125	62	150	86
75	100	19	110	27	135	44	160	65	110	22,5	135	37	160	54	110	47	135	79	160	115	110	38	135	65	160	93
80	105	19	115	28	140	44	170	68	115	23	140	37	170	56	115	48	140	79	170	120	115	38	140	65	170	96
85	110	19	125	31	150	49	180	72	125	26	150	40,5	180	60	125	55	150	87	180	128	125	45	150	70	180	104
90	120	22	135	35	155	50	190	77	135	28,5	155	41	190	62,5	135	62	155	88	190	135	135	49	155	70	190	106
100	135	25	150	38	170	55	210	85	150	31	170	46	210	71	150	67	170	97	210	150	150	53	170	79	210	122
110	145	25	160	38	190	63	230	95	160	31	190	51,5	230	80	160	67	190	110	230	166	160	53	150	87	—	—
120	155	25	170	39	210	70	250	102	170	31	210	58	250	86	170	68	210	123	250	177	170	52	210	99	—	—
130	170	30	190	45	225	75	270	110	190	36	225	60	270	90	190	80	225	130	270	192	190	62	—	—	—	—
140	180	31	200	46	240	80	280	112	200	38	240	66	280	93	200	81	240	140	280	196	200	65	—	—	—	—
150	190	31	215	50	250	80	300	120	215	39,5	250	66	300	99	215	89	250	140	300	209	215	68	—	—	—	—
160	200	31	225	51	270	87	320	130	225	40	270	71	320	108,5	225	90	270	153	320	226	225	68	—	—	—	—
170	215	34	240	55	280	87	340	135	240	43,5	280	71	340	110	240	97	280	153	340	236	240	74	—	—	—	—
180	225	34	250	56	300	95	360	140	250	44,5	300	77	360	117,5	250	98	300	165	360	245	250	75	—	—	—	—
190	240	37	270	62	305	105	380	150	270	50	320	88	—	—	270	109	320	183	—	—	270	85	—	—	—	—
200	250	37	280	62	340	110	400	155	280	51	340	92	—	—	280	109	340	192	—	—	280	87	—	—	—	—

Cojinetes de bolas radiales, con manguito de calado





Medidas exteriores

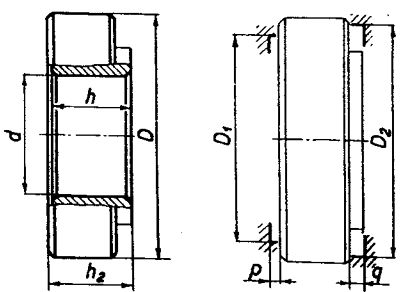
Medidas en mm

UNI	629					630					631					632					633				
d	D	h	m	n	p	D	h	m	n	p	D	h	m	n	p	D	h	m	n	p	D	h	m	n	p
17	47	14	14	38	40	47	14	14	38	40	47	18	14	38	40	52	15	14	38	40	52	21	14	44	40
20	52	15	15	39	45	52	15	15	39	45	52	18	15	39	45	62	17	15	39	45	62	24	15	48	45
25	62	16	15	41	50	62	16	15	41	50	62	20	15	41	50	72	19	15	41	50	72	27	15	52	50
30	72	17	17	46	58	72	17	17	46	58	72	23	17	46	58	80	21	17	46	58	80	31	17	58	58
35	80	18	17	47	65	80	18	17	47	65	80	23	17	47	65	90	23	17	47	65	90	33	17	60	65
40	85	19	17	49	72	85	19	17	49	72	85	23	17	49	72	100	25	17	49	72	100	36	17	63	72
45	90	20	19	54	76	90	20	19	54	76	90	23	19	54	76	110	27	19	54	76	110	40	19	70	76
50	100	21	19	56	85	100	21	19	56	85	100	25	19	56	85	128	29	19	56	85	120	43	19	73	85
55	110	22	20	60	90	110	22	20	60	90	110	28	20	60	90	130	31	20	60	90	130	46	20	77	90
60	120	23	21	63	96	120	23	21	63	96	120	31	21	63	96	140	33	21	63	96	140	48	21	80	96
65	130	25	23	70	110	130	25	23	70	110	130	31	23	70	110	160	37	23	70	110	160	55	23	90	110
70	140	26	25	74	120	140	26	25	74	120	140	33	25	74	120	170	39	25	74	120	170	58	25	95	120
75	150	28	27	79	128	150	28	27	79	128	150	36	27	79	128	180	41	27	79	128	180	60	27	100	128
80	160	30	28	82	135	160	30	28	82	135	160	40	28	82	135	190	43	28	82	135	190	64	28	105	135
85	170	32	29	85	145	170	32	29	85	145	170	43	29	85	145	200	45	29	85	145	200	67	29	109	145
90	180	34	30	88	150	180	34	30	88	150	180	46	30	88	150	215	47	30	88	150	215	73	30	116	150
95	190	36	31	92	160	190	36	31	92	160	190	50	31	92	160	225	49	31	92	160	225	77	31	122	160
100	200	38	32	97	170	200	38	32	97	170	200	53	32	97	170	240	50	32	97	170	240	80	32	126	170

UNI	3075					3076					3077					3078					3079				
d	D	h	m	n	p	D	h	m	n	p	D	h	m	n	p	D	h	m	n	p	D	h	m	n	p
17	—	—	—	—	—	52	15	15	39	40	—	—	—	48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	52	15	15	39	45	62	17	16	44	45	80	21	19	48	40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25	62	16	15	41	50	72	19	17	47	50	90	23	20	52	45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30	72	17	17	46	58	80	21	19	48	58	100	25	21	58	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
35	80	18	17	47	65	90	23	21	50	65	110	27	21	60	58	80	23	17	47	65	90	33	17	60	65
40	85	19	17	49	72	100	25	23	52	72	120	29	22	63	65	85	23	17	49	72	100	36	17	63	72
45	90	20	19	54	76	110	37	24	55	76	130	31	22	70	72	90	23	19	54	76	110	40	19	70	76
50	100	21	19	56	85	120	29	26	57	85	140	33	23	73	76	100	25	19	56	85	120	43	19	73	85
55	110	22	20	60	90	130	31	29	60	90	150	35	25	77	85	110	28	20	60	90	130	46	20	77	90
60	120	23	21	63	96	140	33	30	63	96	160	37	27	80	90	120	31	21	63	96	140	48	21	80	96
65	130	25	23	70	110	160	37	33	68	110	190	45	28	90	96	130	31	23	70	110	160	55	23	90	110
70	140	26	25	74	120	170	39	35	72	120	200	48	29	95	110	140	33	25	74	120	170	58	25	95	120
75	150	28	27	79	128	180	41	38	78	128	210	52	30	100	120	150	36	27	79	128	180	60	27	100	128
80	160	30	28	82	135	190	43	40	82	135	225	54	32	105	128	160	40	28	82	135	190	64	28	105	135
85	170	32	29	85	145	200	45	42	86	145	—	—	—	—	—	170	43	29	85	145	200	67	29	109	145
90	180	34	32	92	150	215	47	45	90	150	—	—	—	—	—	180	46	30	88	150	215	73	30	116	150

Tabla 137

Cojinetes de rodillos cónicos



Medidas exteriores

Medidas en mm

UNI	4219							4220							4221							4222						
d	D	h	h_2 máx.	D_1	D_2	p	q	D	h	h_2 máx.	D_1	D_2	p	q	D	h	h_2 máx.	D_1	D_2	p	q	D	h	h_2 máx.	D_1	D_2	p	q
15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	42	13	14,5	35	38	2	3	42	17	18,5	35	38	2	4
17	40	12	13,5	34	36	2	2	—	—	—	—	—	—	—	47	14	15,5	39	43	2	3	47	19	20,5	39	43	2	4
20	47	14	15,5	40	43	2	3	—	—	—	—	—	—	—	52	15	16,5	43	48	2	3	52	21	22,5	43	48	2	4
25	52	15	16,5	45	48	2	3	—	—	—	—	—	—	—	62	17	18,5	52	58	2	3	62	24	25,5	52	58	2	5
30	62	16	17,5	53	58	2	3	62	20	21,5	53	58	2	4	72	19	21	61	67	2	4,5	72	27	29	61	67	2	5,5
35	72	17	18,5	61	68	3	3	72	23	24,5	61	68	3	5	80	21	23	68	75	3	4,5	80	31	33	68	75	3	7,5
40	80	18	20	68	76	3	3,5	80	23	25	68	76	3	5,5	90	23	25,5	76	84	3	5	90	33	35,5	76	84	3	8
45	85	19	21	73	81	3	4,5	85	23	25	73	81	3	5,5	100	25	27,5	85	94	3	5	100	36	38,5	85	94	3	8
50	90	20	22	78	86	3	4,5	90	23	25	78	86	3	5,5	110	27	29,5	93	103	3	6	110	40	42,5	93	103	3	9
55	100	21	23	88	95	4	4,5	100	25	27	88	95	4	5,5	120	29	32	102	113	4	6	120	43	46	102	113	4	10
60	110	22	24	96	105	4	4,5	110	28	30	96	105	4	5,5	130	31	34	110	122	4	7	130	46	49	110	122	4	11
65	120	23	25	105	115	4	4,5	120	31	33	105	115	4	5,5	140	33	36,5	120	132	4	7,5	140	48	51,5	120	132	4	11,5
70	125	24	26,5	109	120	4	5	125	31	33,5	109	120	4	6	150	35	38,5	129	141	4	7,5	150	51	54,5	129	141	4	11,5
75	130	25	27,5	114	125	4	5	130	31	33,5	114	125	4	6	160	37	40,5	138	150	4	8,5	160	55	58,5	138	150	4	12,5
80	140	26	28,5	124	134	4	6	140	33	33,5	124	134	4	7	170	39	43	146	160	4	9	170	58	62	146	160	4	13
85	150	28	31	132	143	5	6	150	36	39	132	143	5	8	180	41	45	155	170	5	10	180	60	64	155	170	9	14
90	160	30	33	142	153	5	6	160	40	43	142	153	5	8	190	43	47	164	180	5	10	190	64	68	164	180	9	14
95	170	32	35	150	163	5	7	170	43	46	150	163	5	10	200	45	50	172	188	5	11	200	67	72	172	188	10	14
100	180	34	37,5	158	173	5	8	180	46	49,5	158	173	5	10	215	47	52	185	200	5	12	215	73	78	185	200	11	16
105	190	36	39,5	167	182	8	9	190	50	53,5	167	182	5	10	225	49	54	195	210	11	12	225	77	82	195	210	11	17
110	200	38	41,5	175	192	8	9	200	53	56,5	175	192	8	10	240	50	55	206	225	11	12	240	80	85	206	225	12	17
120	215	40	44	190	207	9	9	215	58	62	190	207	9	11	260	55	60	224	240	12	12	260	86	91	224	240	12	18
130	230	40	44,5	205	220	9	9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
140	250	42	46,5	220	240	9	9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
150	270	45	50	240	255	10	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

estaban unificados anteriormente: por lo cual se considera conveniente dar, al menos, noticia de las mismas:

UNI 4205	Cojinetes radiales rígidos, de una hilera de bolas, con arandela de protección no deslizante, serie ligera (serie ISO 02).
UNI 4206	Ídem, con arandela de protección deslizante (serie ISO 02).
UNI 4207	Como 4205, serie media (serie ISO 03).
UNI 4208	Como 4206, serie media (serie ISO 03).
UNI 4466	Cojinetes radiales rígidos, de una hilera de bolas, estancos, serie ligera.
UNI 4467	Ídem, serie media (serie ISO 03).
UNI 4468	Ídem, serie ligera ancha (serie ISO 22).
UNI 4469	Ídem, serie media ancha (serie ISO 23).
UNI 4470	Cojinetes radiales rígidos, de una hilera de bolas, protegidos (con dos arandelas de protección no deslizantes), serie ligera (serie ISO 02).
UNI 4471	Ídem, serie media (serie ISO 03).
UNI 4474	Cojinetes radiales rígidos, de una hilera de bolas, para grandes velocidades, serie extraligera, ancha (serie ISO 10).
UNI 4485	Ídem, serie ligera (serie ISO 31).
UNI 4486	Ídem, serie media (serie ISO 03).
UNI 4488	Ídem, serie ligera especial (serie ISO 32).

Por último, interesa saber que en agosto de 1959 ha publicado el UNI, con el número 4259, un opúsculo de 14 tablas, que exponen un cuadro general de las medidas exteriores de los cojinetes radiales (excluidos los de rodillos cónicos). Este cuadro tiene por objeto orientar a los constructores sobre los tipos de cojinetes radiales y reducir la variedad de medidas de su serie, con lo que se asegura una producción económica, conservando sin embargo el número de tamaños suficiente para satisfacer la demanda presente y futura. Dicho cuadro ha sido compuesto sin variar las series y tamaños de los cojinetes de uso corriente en dicha fecha.

Después de lo expuesto, basta haber dado conocimiento de dicho cuadro para que el dibujante que tenga que ocuparse especialmente de proyectar cojinetes esté enterado de su existencia y pueda serle de utilidad.

El conjunto de estos datos, expuestos en forma resumida, comprende lo referente a cojinetes de rodamiento hasta el 30 de septiembre de 1960.

Después de exponer algunas consideraciones generales sobre la fabricación y los materiales de los cojinetes, se darán unas cuantas indicaciones importantes sobre su montaje, puesto que es indispensable que las conozca el dibujante, para su correcta aplicación.

En cambio se prescindirá de los detalles del montaje a mano de los cojinetes, por no ser de competencia del dibujante sino del montador.

Todos los cojinetes están constituidos por dos aros o dos discos, que tienen apropiados caminos de rodadura (canales o pistas rectificados, sobre los cuales ruedan las bolas o los rodillos, mantenidos a distancias uniformes mediante adecuadas jaulas de chapa estampada (figs. II, 360-361). Estas jaulas, en los cojinetes desmontables, sirven también para conservar en su posición las piezas de rodamiento, cuando se desmontan.

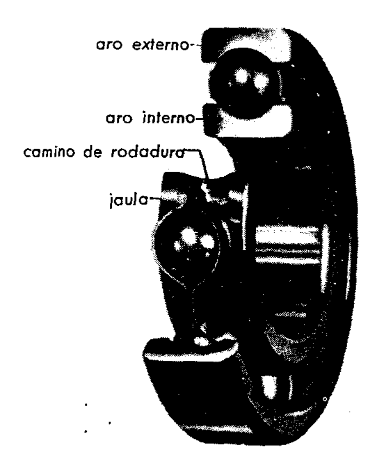


Fig. II, 360. *Cojinete de bolas cortado. Se pueden ver claramente las principales partes de que se compone (SKF).*

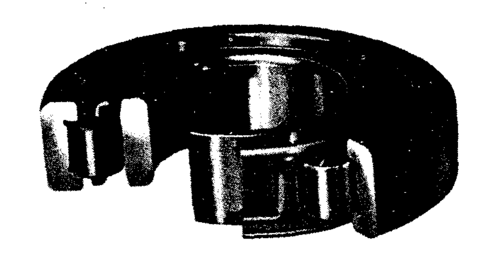


Fig. II, 361. *Cojinete de rodillos cilíndricos (SKF).*

Los cojinetes se construyen de acero de adecuadas características de dureza y tenacidad, que les permitan soportar, con muy poco desgaste, millones de revoluciones, sometidos a cargas y esfuerzos a veces concentrados y localizados. Los aceros que presentan estas características son los que contienen bastante carbono (1 %) y poco cromo (1,5 %). Para tipos especiales se emplean el acero inoxidable o el bronce.

Los canales de los cojinetes de bolas tienen un radio algo mayor que las bolas, por lo que hay un juego en sentido radial de algunas milésimas de milímetro.

La lubricación varía con la velocidad y el tamaño de los cojinetes y se efectúa con grasas o aceites; para la selección del lubricante se tiene en cuenta el producto del diámetro del agujero del cojinete en milímetros por el número de revoluciones por minuto.

Hay tipos de *cojinetes de cierre hermético* (estancos), que se emplean en la fabricación de automóviles, motores eléctricos y en general de todos los mecanismos en los que los cojinetes son de difícil acceso y lubricación; estos cojinetes se instalan previamente lubricados y no necesitan que se lubriquen desde fuera (fig. II, 362).

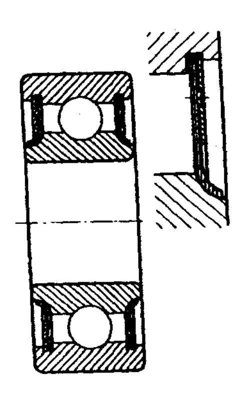


Fig. II, 362. *Los cojinetes estancos no permiten la penetración de sustancias extrañas (polvo, etc.); están prelubricados.*

Los *cojinetes de agujas*, así llamados por llevar unos rodillos de pequeñísimo diámetro, tienen aplicación en los casos en que se dispone de poco espacio en sentido radial; no sirven para cargas axiales. En tales casos, cuando convenga, sea como sea, reducir el tamaño radial, la superficie exterior del gorrón funciona como superficie de rodamiento de las agujas (fig. II, 363).

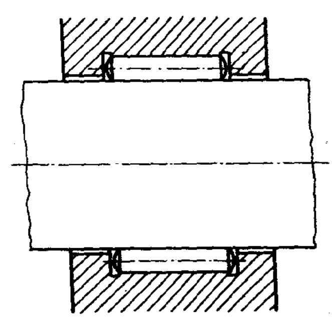


Fig. II, 363. *Los cojinetes de agujas son de pequeñísimas dimensiones radiales; no soportan cargas axiales. En caso de necesidad, la superficie exterior del gorrón funciona, como en el caso de la figura, como superficie de rodamiento de las agujas.*

73. Algunas normas para la aplicación de los cojinetes

Para lograr una aplicación completamente racional de los cojinetes es necesario que, al estudiar las diferentes partes de la máquina o dispositivo a que hayan de aplicarse los cojinetes, se tengan en cuenta las exigencias de los mismos, desde el principio del proyecto. Sólo así estarán éstos en condiciones de poder cumplir la función para la que han sido construidos; si, por el contrario, se aplican los cojinetes al plano o dibujo acabado, es muy probable que su aplicación pueda presentar algún defecto, a veces de mucha gravedad.

Lo que más interesa al dibujante, a este propósito, es la correcta aplicación de los tipos más adecuados. Para lo cual se han de considerar, en cada caso, las condiciones cinemáticas y dinámicas en que deberán trabajar los cojinetes, seleccionar los más convenientes, basándose en las sencillas indicaciones resumidas en las tablas precedentes, o bien, para las aplicaciones de gran importancia, en las publicaciones de las diferentes empresas constructoras, las cuales, en estos casos, ponen además a disposición de los interesados sus servicios técnicos.

Se emplean también fórmulas que ayudan a seleccionar los tamaños de los cojinetes, en las que interviene la duración que de los mismos se exige, medida en millones de revoluciones o bien en horas de funcionamiento efectivo a velocidad constante y en las más variadas condiciones de empleo. Esta duración, cuando se toma como base para la selección, varía desde 500 horas, en el caso de aparatos de uso poco frecuente, como, por ejemplo, las puertas correderas, a 1000 horas para los motores de aviación y hasta 100 000 y más para máquinas de funcionamiento continuo, en servicios que requieren seguridad absoluta de funcionamiento (por ejemplo, las máquinas para la distribución de agua potable, etc.).

74. Condiciones de funcionamiento de los cojinetes de rodamiento

Las condiciones en que puede funcionar un cojinete pueden reducirse a las tres que se indican a continuación:

a) *Árbol que gira en un soporte fijo.* Es el caso más general. El aro interior del cojinete sufre un esfuerzo radial sobre el árbol con una presión tanto mayor cuanto más elevada sea la carga, y gira con el árbol respecto al aro exterior y al soporte en que está montado. La posición en que actúa la fuerza es constante en el espacio; por lo que en cada vuelta todos los puntos de la superficie de rodamiento del aro interior están sucesivamente sometidos a la carga.

El aro exterior debe montarse con ajuste libre o de empuje en su alojamiento para permitir un ligero corrimiento del árbol al variar su longitud cuando, por ejemplo, varía su temperatura. Mas, para los cojinetes montados a poca distancia unos de otros y para los cojinetes de rodillos (abiertos o semicerrados), los cojinetes de agujas y los cojinetes de rodillos cónicos se entran generalmente a presión los dos aros.

b) *Eje fijo-alojamiento giratorio.* Se presen-

ta este caso en las poleas locas, ruedas libres de automóvil, etcétera.

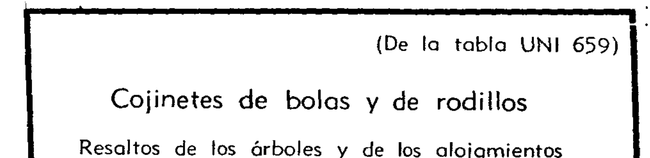
El aro interior soporta la carga siempre en el mismo punto de su superficie, mientras que la superficie de rodamiento del aro exterior, giratorio, está sometida a la carga sucesivamente en todos sus puntos. El aro giratorio está apretado en sentido radial contra su propio asiento.

c) *Condiciones de funcionamiento indeterminado*, en las que hay una fuerza dinámica que puede modificar las condiciones estáticas de la carga.

Tanto si el aro interior ha de estar calado rígidamente sobre el árbol como si el aro exterior ha de estar montado con ajuste fuerte sobre el soporte giratorio, dichos aros están siempre apoyados contra un adecuado **resalto**. La altura mínima del resalto, así como los radios de los redondeados del mismo, están unificados en la tabla UNI 659 y reproducidos en la tabla 138. Hace algún tiempo (junio de 1959) que se publicó otra tabla (UNI 4223) relativa a los resaltos para cojinetes de rodillos cónicos, de la que se ha extractado la tabla 139.

En las figuras que siguen (figs. II, 364-383), se representan las secciones de los principales tipos de cojinetes, cuyas características se comprenden fácilmente con ayuda de las leyendas. Se presentan además algunos de los ejemplos más típicos de montajes correctos y erróneos.

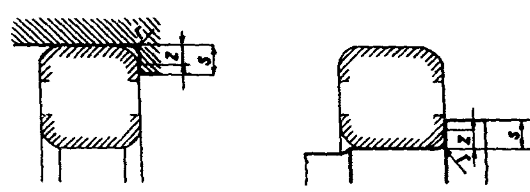
Tabla 138



(De la tabla UNI 659)

Cojinetes de bolas y de rodillos

Resaltos de los árboles y de los alojamientos



Medidas nominales del redondeado z mm	Resaltos de los árboles y de los alojamientos		
	Radio de redondeado r máximo mm	Altura del resalto s mínimo	
		Serie extraligera, ligera y media mm	Serie pesada mm
0,5	0,3	1,5	—
1	0,6	2,5	—
1,5	1	3	—
2	1	3,5	4,5
2,5	1,5	4,5	5
3	2	5	5,5
3,5	2	6	6,5
4	2,5	7	7,5
5	3	9	9,5
6	4	11	12
8	5	14	15
10	6	—	—

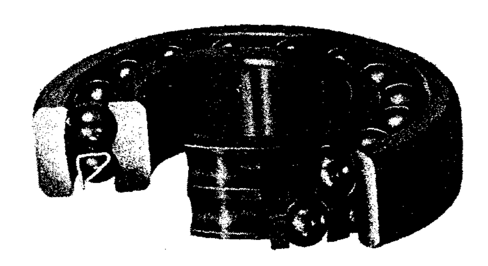


Fig. II, 364. *Cojinete de bolas a rótula. Tiene dos hileras de bolas que ruedan en el camino esférico común del aro exterior. Se puede pues adaptar a pequeñas desviaciones angulares del árbol, debidas a errores de desmontaje o a movimientos de deformación o nivelación.*

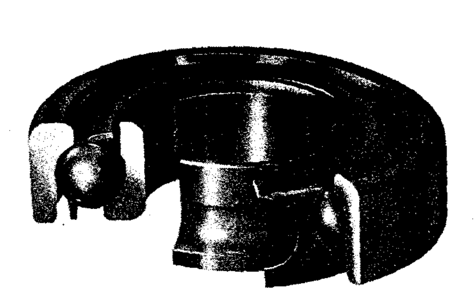


Fig. II, 365. *Cojinete de una hilera de bolas con contacto angular. Soporta elevadas cargas axiales. No se puede descomponer (SKF).*

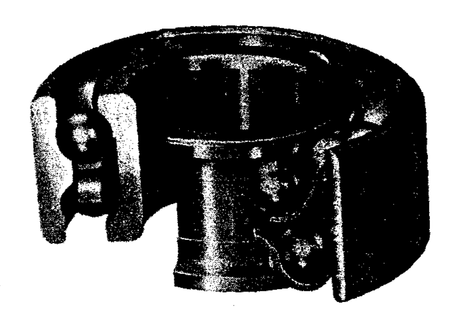
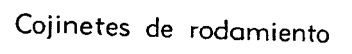


Fig. II, 366. *Cojinete de dos hileras de bolas con contacto angular, capaz de soportar elevadas cargas radiales y al mismo tiempo cargas axiales en los dos sentidos (SKF).*

Tabla 139

(De la tabla UNI 4223)



Cojinetes de rodamiento

Resaltos y profundidades de los alojamientos para cojinetes de rodillos cónicos

Medidas en mm

Agujero del cojinete	Series								
	ligera (ISO 02) y ligera ancha (ISO 22)					ligera (ISO 02)		ligera ancha (ISO 22)	
d	D	D_1 máx	D_2	d_1 mín	d_2 mín	a_1 mín	a_2 mín	a_1 mín	a_2 mín
15	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17	40	23	23	33	36,5	2	2	—	—
20	47	26	26	39	43	2	3	—	—
22	50	28	28	42	46	2	3	—	—
25	52	31	31	43	48	2	3	—	—
28	58	34	34	49	53,5	2	3	—	—
30	62	37	36	52	57	2	3	2	4
32	65	39	38	55	60	3	3	3	4
35	72	43	42	61	67	3	3	3	5
40	80	48	47	68	75	3	3,5	3	5,5
45	85	53	52	73	80	3	4,5	3	5,5
50	90	58	57	78	85	3	4,5	3	5,5
55	100	63	64	87	94	4	4,5	4	5,5
60	110	69	69	95	102	4	4,5	4	5,5
65	120	75	74	105	112	4	4,5	4	5,5
70	125	80	79	108	117	4	5	4	6
75	130	85	84	113	123	4	5	4	6
80	140	90	90	122	132	4	6	4	7
85	150	96	95	130	140	5	6	5	8
90	160	102	100	138	150	5	6	5	8
95	170	108	107	146	158	5	7	5	10
100	180	114	112	155	168	5	8	5	10
105	190	120	117	163	178	8	9	5	10
110	200	125	122	171	188	8	9	8	10
120	215	135	132	184	202	9	9	9	11
d	media (ISO 03) y media ancha (ISO 23)					media (ISO 03)		media ancha (ISO 23)	
15	42	22	21	35	38	2	3	2	4
17	47	25	23	39	42	2	3	2	4
20	52	27	27	43	47	2	3	2	4
22	56	29	29	47	51	2	3	2	4,5
25	62	33	32	53	57	2	3	2	5
28	68	36	35	58	63	2	4	2	5
30	72	38	37	61	66	2	4,5	2	5,5
32	75	40	39	64	69	3	4,5	3	6,5
35	80	43	44	68	74	3	4,5	3	7,5
40	90	50	49	76	82	3	5	3	8
45	100	56	54	85	93	3	5	3	8
50	110	62	60	94	102	3	6	3	9
55	120	67	65	103	111	4	6	4	10
60	130	73	72	112	120	4	7	4	11
65	140	80	77	121	130	4	7,5	4	11,5
70	150	85	82	129	140	4	7,5	4	11,5
75	160	91	87	138	149	4	8,5	4	12,5
80	170	97	92	147	159	4	9	4	13
85	180	102	99	155	167	5	10	9	14
90	190	108	104	163	177	5	10	9	14
95	200	113	109	171	186	5	11	10	14
100	215	121	114	183	200	5	12	11	16
105	225	127	119	193	209	11	12	11	17
110	240	135	124	205	222	11	12	12	17
120	260	145	134	219	239	12	12	12	18

En general se han de tener presentes estas observaciones:

a) Al montar cualquier tipo de cojinete se han de evitar las desviaciones de una perfecta alineación o de la coaxialidad del árbol y sus correspondientes soportes. Cuando sean de temer desviaciones de esta clase, se deberá recurrir al empleo de cojinetes radiales a rótula, o a cojinetes axiales de contraplaca esférica.

b) Algunos tipos de cojinetes radiales son de forma cerrada, es decir, no son desmontables; otros, en cambio, son de forma abierta, es decir, su aro

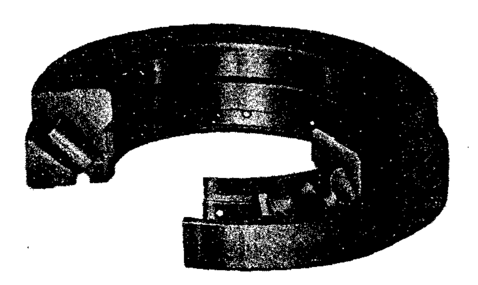


Fig. II, 370. *Cojinete de empuje de rodillos a rótula, con gran capacidad de carga y de autorregulación. Puede soportar asimismo cargas radiales. Debe lubricarse con aceite.*

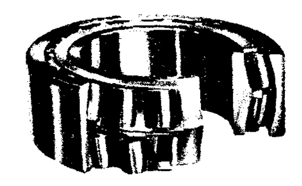


Fig. 367. *Cojinete de rodillos a rótula, de gran capacidad de carga.*

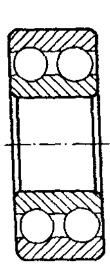


Fig. II, 371. *Esquema de cojinete no desmontable.*

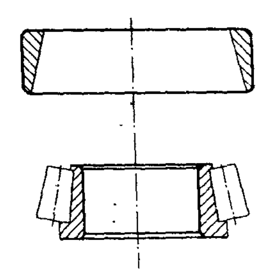


Fig. II, 372. *Esquema de cojinete desmontable (en dos piezas).*

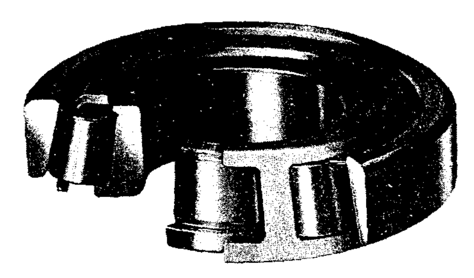
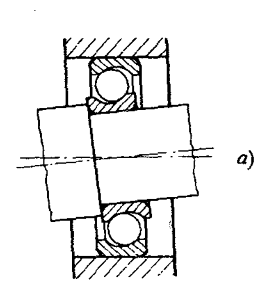


Fig. II, 368. *Cojinete de rodillos cónicos capaz de soportar simultáneamente esfuerzos radiales y axiales. Este cojinete ha de ir siempre acoplado con otro cojinete dispuesto para resistir los empujes axiales dirigidos en sentido contrario. Se puede descomponer, por cuanto su aro interior con portarrodillos y rodillos y el aro exterior se montan por separado.*



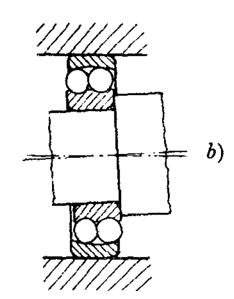


Fig. II, 373. *Se ha de procurar la perfecta coaxilidad del árbol con el soporte para evitar que se produzca la deformación que aparece exagerada en* a); *en el caso de que sea imposible obtener dicha coaxialidad, se tienen que emplear cojinetes a rótula* b).

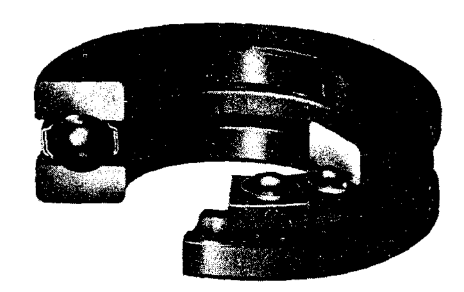
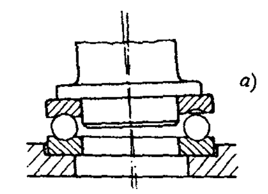


Fig. II, 369. *Cojinete de empuje de simple efecto, capaz de soportar únicamente cargas axiales en una dirección.*



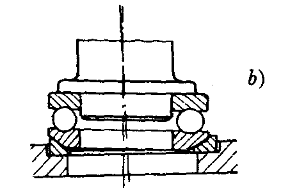


Fig. II, 374. *La misma consideración de la figura anterior sirve para los cojinetes de empuje.* a) *selección errónea;* b) *selección correcta.*

exterior se puede separar del aro interior con las piezas rodantes, cuando sea necesario para el montaje. En el primer caso, la fijación axial del árbol respecto a la caja está encomendada solamente al cojinete; en el segundo caso, dicha fijación ha de asegurarse mediante los resaltos del árbol y de la caja.

c) Cuando convenga prever la posibilidad de tener que desmontar los cojinetes radiales, puesto que la extracción de un aro se ha de hacer siempre directamente y no por la de las piezas de rodamiento o del otro aro del cojinete, la altura del resalto ha de ser inferior a los espesores de los aros o de la rótula, pero conservando siempre valores que den una superficie de apoyo suficiente.

d) El montaje de varios cojinetes que soporten empujes axiales sobre el mismo árbol es siempre difícil; por lo que cuando se ha de movilizar un árbol en sentido de su eje se ha de confiar a un solo cojinete la resistencia a los empujes axiales; los otros cojinetes han de soportar únicamente esfuerzos radiales. Esto es especialmente indispensable cuando los cojinetes se han de montar muy separados, porque la eventual dilatación del árbol, en el caso de que se hubiesen montado dos o más cojinetes para empujes axiales, produciría fuerzas en los cojinetes que los deteriorarían rápidamente.

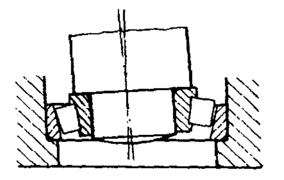


Fig. II, 375. *La selección de un cojinete rígido de rodillos cónicos es errónea porque no hay la necesaria coaxialidad entre árbol y soporte.*

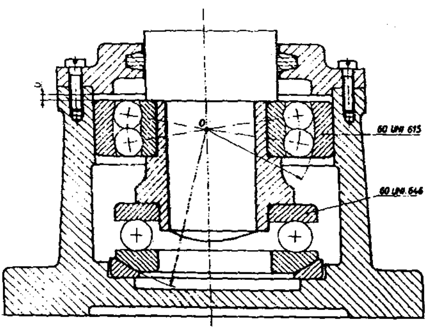


Fig. II, 376. *Cuando en la misma caja se montan un cojinete axial y uno radial, se debe dejar una pequeña separación* g *entre la cara frontal del aro exterior del cojinete radial y la cara interna de la tapa. En la aplicación de grupos a rótula de apoyo y de empuje, conviene que las posiciones relativas de los cojinetes sean tales que tengan el mismo centro de oscilación, como indica la figura. Por lo que se refiere a la contraplaca esférica de apoyo, véase la leyenda de la* figura II, 383.

Esta regla sólo admite una excepción, en el caso de que, con un esmeradísimo montaje, convenga montar dos cojinetes axiales muy próximos uno al otro, pues evidentemente en tal caso la dilatación térmica resulta despreciable.

En las figuras II, 376-383 se representan ejemplos de estos casos.

Para ajustar axialmente sobre el árbol el aro interior se puede usar en algunos casos un manguito ros-

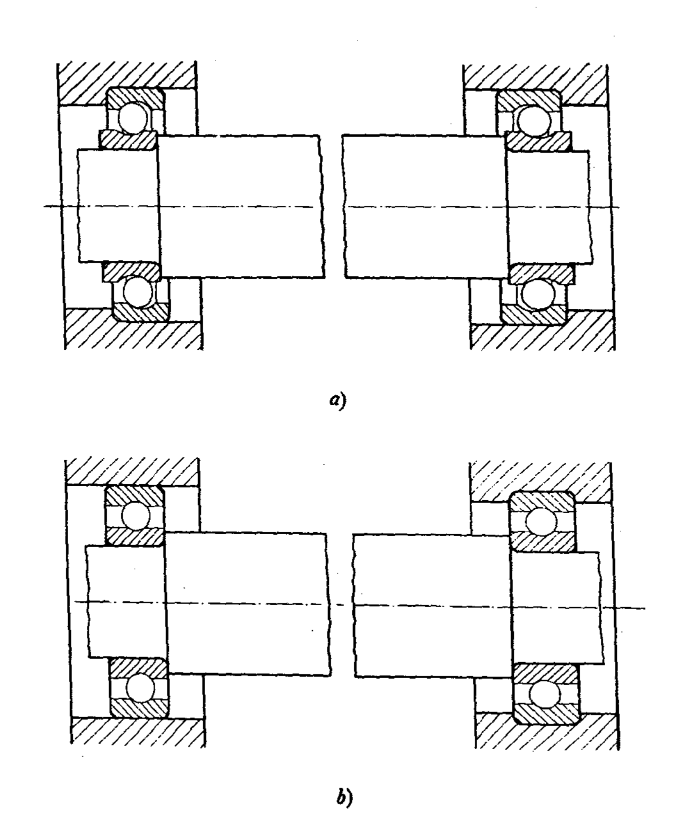


Fig. II, 377. a) *Montaje erróneo porque la función de inmovilizar axialmente un árbol de gran longitud se confía a dos cojinetes en lugar de uno solo.* b) *Montaje correcto porque sólo el cojinete de la derecha limita los corrimientos axiales del árbol.*

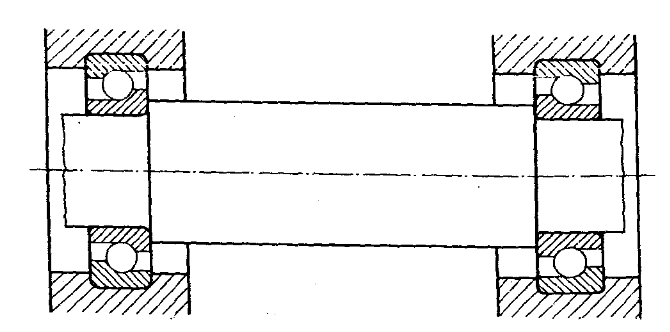


Fig. II, 378. *Cuando los dos soportes están muy próximos, de modo que se pueda excluir la variación de longitud del árbol, se inmoviliza axialmente el árbol con dos cojinetes.*

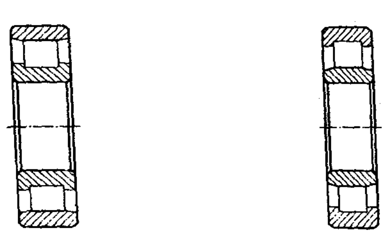


Fig. II, 379. *Representa esta figura dos tipos de cojinetes de forma abierta, que permiten pequeños corrimientos axiales y pueden ser muy útiles en los casos de montaje de piezas separadas.*

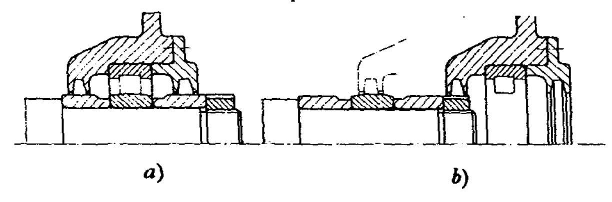


Fig. II, 380. *Ejemplos de montaje* a) *y de desmontaje* b) *de un cojinete de forma abierta.*

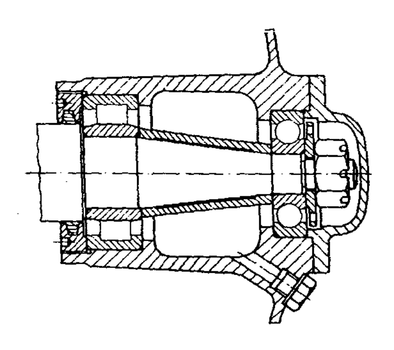


Fig. II, 381. *Aplicación de un cojinete de forma abierta.*

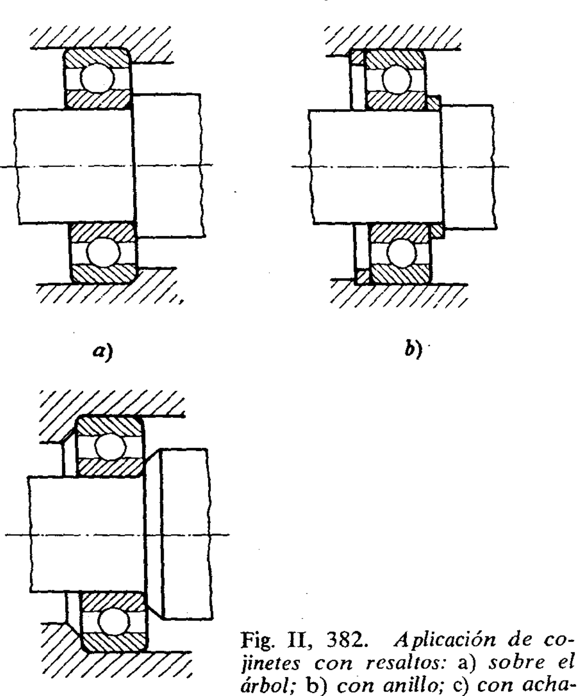


Fig. II, 382. *Aplicación de cojinetes con resaltos:* a) *sobre el árbol;* b) *con anillo;* c) *con achaflanado.*

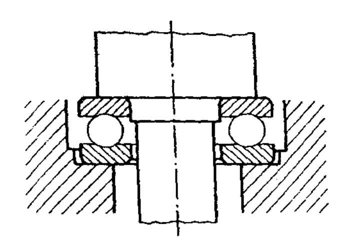


Fig. II, 383. *Montaje correcto de un cojinete de empuje; con un ancho resalto se logra que la carga del árbol sobre el aro se distribuya desde la periferia del agujero hasta más allá de la línea media del camino de rodamiento de las bolas. Si esto no fuese posible, se puede interponer una contraplaca o un manguito adecuado, como se vio en la* figura II, 376.

cado sobre un casquillo calado en el árbol, con una arandela de seguridad (fig. II, 384). En el agujero de la arandela hay una lengüeta, perfectamente visible en la figura, que se introduce en una ranura practicada en el casquillo; uno de los dientes de la arandela, una vez apretada, se dobla sobre una de las muescas que presenta la periferia del manguito; de este modo queda asegurado el ajuste.

En las tablas 140 y 141 (SKF) se hallarán las medidas no unificadas de los manguitos y de las arandelas.

Para el mismo objeto se puede recurrir también a los aros elásticos, tanto interiores como exteriores, alojados en adecuadas ranuras de los árboles o de las cajas.

Las figuras II, 385-386 representan dos aplicaciones de aros de este tipo.

Estos aros elásticos, empleados desde hace algunos años en todas partes, y ya normalizados en varios países, han sido también recientemente unificados en Italia, con el nombre de **aros elásticos de seguridad para árboles (UNI 3653), para agujeros (UNI 3654)** y **de tope (UNI 3656).**

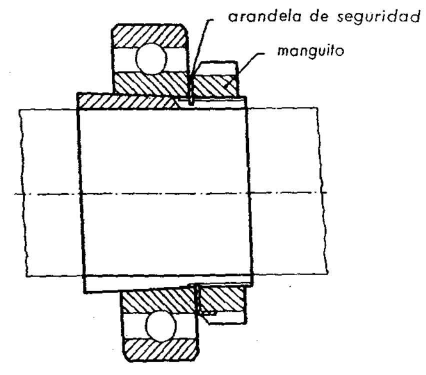
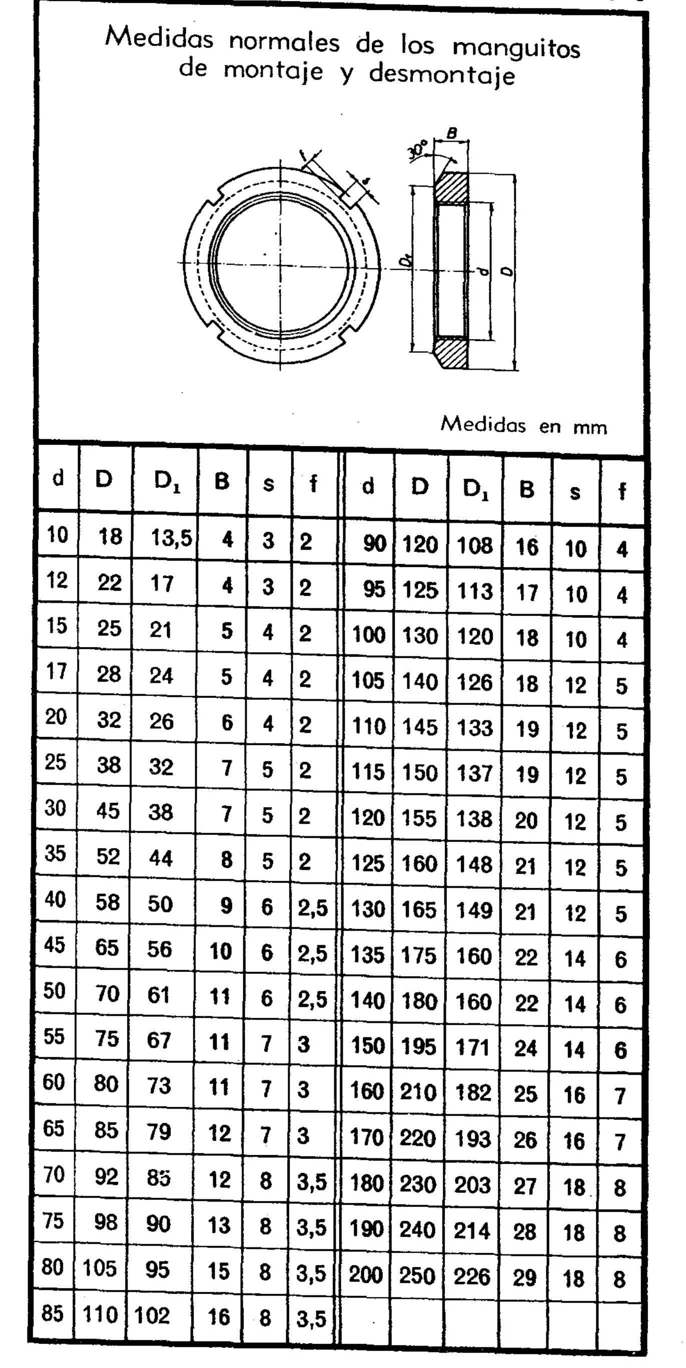


Fig. II, 384. *Para fijar axialmente un cojinete, se pueden emplear adecuados manguitos roscados, con arandelas de seguridad.*

Los datos que sobre este particular pueden interesar al dibujante están reunidos en las tablas 142 a 144. Dada su gran difusión, se han transcrito también en la tabla 145 los aros Benzing, unificados en Alemania (DIN 6799).

Tabla 140

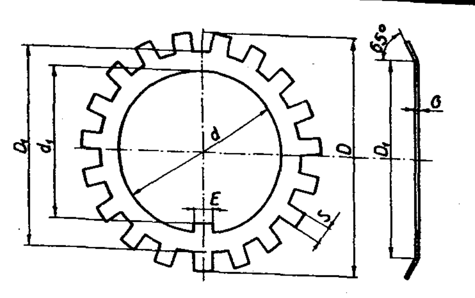


Medidas normales de los manguitos de montaje y desmontaje

Medidas en mm

d	D	D_1	B	s	f	d	D	D_1	B	s	f
10	18	13,5	4	3	2	90	120	108	16	10	4
12	22	17	4	3	2	95	125	113	17	10	4
15	25	21	5	4	2	100	130	120	18	10	4
17	28	24	5	4	2	105	140	126	18	12	5
20	32	26	6	4	2	110	145	133	19	12	5
25	38	32	7	5	2	115	150	137	19	12	5
30	45	38	7	5	2	120	155	138	20	12	5
35	52	44	8	5	2	125	160	148	21	12	5
40	58	50	9	6	2,5	130	165	149	21	12	5
45	65	56	10	6	2,5	135	175	160	22	14	6
50	70	61	11	6	2,5	140	180	160	22	14	6
55	75	67	11	7	3	150	195	171	24	14	6
60	80	73	11	7	3	160	210	182	25	16	7
65	85	79	12	7	3	170	220	193	26	16	7
70	92	85	12	8	3,5	180	230	203	27	18	8
75	98	90	13	8	3,5	190	240	214	28	18	8
80	105	95	15	8	3,5	200	250	226	29	18	8
85	110	102	16	8	3,5						

Tabla 141

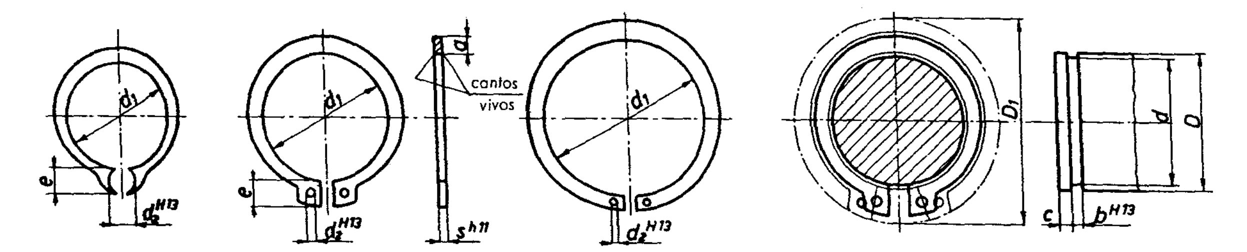


Arandelas de seguridad

Medidas en mm

d	d_1	D	D_1	E	S	G
10	8,5	21	13,5	3	3	1
12	10,5	25	17	3	3	1
15	13,5	28	21	4	4	1
17	15,5	32	24	4	4	1
20	18,5	36	26	4	4	1
25	23	42	32	5	5	1,25
30	27,5	49	38	5	5	1,25
35	32,5	57	44	6	5	1,25
40	37,5	62	50	6	6	1,25
45	42,5	69	56	6	6	1,25
50	47,5	74	61	6	6	1,25
55	52,5	81	67	8	7	1,25
60	57,5	86	73	8	7	1,5
65	62,5	92	79	8	7	1,5
70	66,5	98	85	8	8	1,5
75	71,5	104	90	8	8	1,5
80	76,5	112	95	10	8	1,75
85	81,5	119	102	10	8	1,75
90	86,5	126	108	10	10	1,75
95	91,5	133	113	10	10	1,75
100	96,5	142	120	12	10	1,75
105	100,5	145	126	12	12	1,75
110	105,5	154	133	12	12	1,75
115	110,5	159	137	12	12	2
120	115	164	138	14	12	2
125	120	170	148	14	12	2
130	125	175	149	14	12	2
135	130	185	160	14	14	2
140	135	192	160	16	14	2
150	145	205	171	16	14	2
160	154	217	182	18	16	2,5
170	164	232	193	18	16	2,5
180	174	242	203	20	18	2,5
190	184	252	214	20	18	2,5
200	194	262	226	20	18	2,5

Aros elásticos de seguridad, para árboles

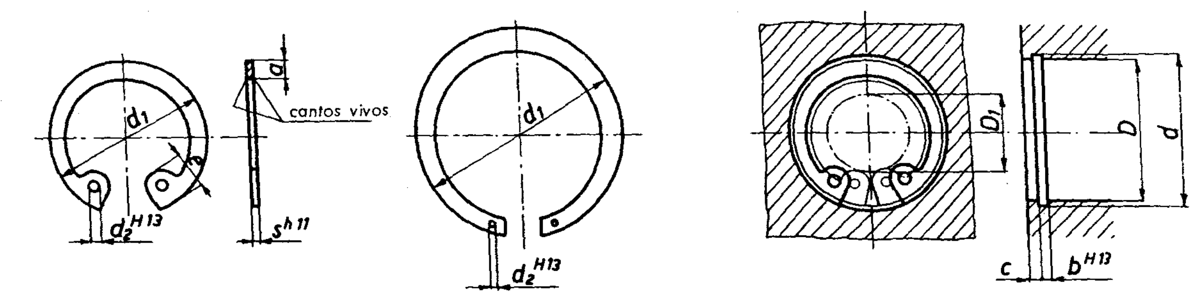


Ejemplo de designación de un aro de seguridad, para un árbol que tiene D = 30 mm: **Aro 30 UNI 3653**

Medidas en mm

Indicación para la designación D	a	b	c	D_1	d	Tolerancia sobre d	d_1	Tolerancia sobre d_1	d_2	e	s	Peso por 1000 piezas ~ Kg
4	0,7	0,5	1	8	3,8	h 11	3,7	∓ 0,075	2	1,8	0,4	0,023
5	1,1	0,7	1	10	4,8	h 11	4,7	∓ 0,075	2,5	2,2	0,6	0,066
6	1,3	0,8	1	12	5,7	h 11	5,6	∓ 0,09	2,8	2,6	0,7	0,084
7	1,3	0,9	1	14	7,6	h 11	6,5	∓ 0,09	3,2	2,8	0,8	0,121
8	1,5	0,9	1	15	7,6	h 11	7,4	∓ 0,09	3,2	2,8	0,8	0,158
9	1,8	1,1	1,5	16	8,6	h 11	8,4	∓ 0,15	3,2	3	1	0,300
10	1,9	1,1	1,5	17	9,6	h 11	9,3	∓ 0,15	1,5	3	1	0,340
11	2,2	1,1	1,5	18	10,5	h 11	10,2	∓ 0,18	1,5	3,1	1	0,410
12	2,2	1,1	1,5	19	11,5	h 11	11	∓ 0,18	1,7	3,2	1	0,500
13	2,2	1,1	1,5	20	12,4	h 11	11,9	∓ 0,18	1,7	3,3	1	0,530
14	2,2	1,1	1,5	22	13,4	h 11	12,9	∓ 0,18	1,7	3,4	1	0,640
15	2,2	1,1	1,5	23	14,3	h 11	13,8	∓ 0,18	1,7	3,5	1	0,670
16	2,2	1,1	1,5	24	15,2	h 11	14,7	∓ 0,18	1,7	3,6	1	0,700
17	2,2	1,1	1,5	25	16,2	h 11	15,7	∓ 0,18	1,7	3,7	1	0,820
18	2,7	1,3	1,5	26	17	h 11	16,5	∓ 0,18	1,7	3,8	1,2	1,11
19	2,7	1,3	1,5	27	18	h 12	17,5	∓ 0,18	2	3,8	1,2	1,22
20	2,7	1,3	1,5	28	19	h 12	18,5	∓ 0,21	2	3,9	1,2	1,30
21	2,7	1,3	1,5	30	20	h 12	19,5	∓ 0,21	2	4	1,2	1,42
22	2,7	1,3	1,5	31	21	h 12	20,5	∓ 0,21	2	4,1	1,2	1,60
24	3,1	1,3	1,5	33	22,9	h 12	22,2	∓ 0,21	2	4,2	1,2	1,77
25	3,1	1,3	1,5	34	23,9	h 12	23,2	∓ 0,21	2	4,3	1,2	1,90
26	3,1	1,3	1,5	35	24,9	h 12	24,2	∓ 0,21	2	4,4	1,2	1,96
28	3,1	1,6	1,5	38	26,6	h 12	25,9	∓ 0,21	2	4,6	1,5	2,92
29	3,5	1,6	1,5	39	27,6	h 12	26,9	∓ 0,21	2	4,7	1,5	3,20
30	3,5	1,6	1,5	40	28,6	h 12	27,9	∓ 0,21	2	4,8	1,5	3,32
32	3,5	1,6	1,5	43	30,3	h 12	29,6	∓ 0,21	2,5	5	1,5	3,54
34	4	1,6	1,5	45	32,3	h 12	31,5	∓ 0,25	2,5	5,3	1,5	3,80
35	4	1,6	1,5	46	33	h 12	32,2	∓ 0,25	2,5	5,4	1,5	4,00
36	4	1,85	2	47	34	h 12	33,2	∓ 0,25	2,5	5,4	1,75	5,00
38	4,5	1,85	2	50	36	h 12	35,2	∓ 0,25	2,5	5,6	1,75	5,62
40	4,5	1,85	2	53	37,5	h 12	36,5	∓ 0,39	2,5	5,8	1,75	6,03

Aros elásticos de seguridad, para agujeros (De la tabla UNI 3654)



Ejemplo de designación de un aro elástico de seguridad, para agujero que tiene D = 30 mm: **Aro 30 UNI 3654**

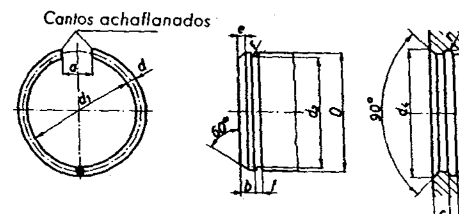
Medidas en mm

Indicación para la designación D	a	b	c	D_1	d	Tolerancia sobre d	d_1	Tolerancia sobre d_1	d_2	e	s	Peso por 1000 piezas: kg
10	1,6	1,1	1,5	3	10,4	H^{11}	10,8	± 0,18	1,2	3,1	1	0,180
11	1,6	1,1	1,5	4	11,4	H^{11}	11,8	± 0,18	1,2	3,2	1	0,310
12	2	1,1	1,5	5	12,5	H^{11}	13	± 0,18	1,5	3,3	1	0,370
13	2	1,1	1,5	6	13,6	H^{11}	14,1	± 0,18	1,5	3,5	1	0,420
14	2	1,1	1,5	7	14,6	H^{11}	15,1	± 0,18	1,7	3,6	1	0,520
15	2	1,1	1,5	8	15,7	H^{11}	16,2	± 0,18	1,7	3,6	1	0,560
16	2	1,1	1,5	8	16,8	H^{11}	17,3	± 0,18	1,7	3,7	1	0,600
17	2	1,1	1,5	9	17,8	H^{11}	18,3	± 0,21	1,7	3,8	1	0,650
18	2,5	1,1	1,5	10	19	H^{11}	19,5	+ 0,21	1,7	4	1	0,740
19	2,5	1,1	1,5	11	20	H^{12}	20,5	± 0,21	2	4	1	0,830
20	2,5	1,1	1,5	12	21	H^{12}	21,5	± 0,21	2	4	1	0,900
21	2,5	1,1	1,5	12	22	H^{12}	22,5	± 0,21	2	4,1	1	1,00
22	2,5	1,1	1,5	13	23	H^{12}	23,5	± 0,21	2	4,1	1	1,10
24	2,5	1,3	1,5	15	25,2	H^{12}	25,9	± 0,21	2	4,3	1,2	1,42
25	3	1,3	1,5	16	26,2	H^{12}	26,9	± 0,21	2	4,4	1,2	1,50
26	3	1,3	1,5	16	27,2	H^{12}	27,9	± 0,21	2	4,6	1,2	1,60
28	3	1,3	1,5	18	29,4	H^{12}	30,1	± 0,25	2	4,6	1,2	1,80
30	3	1,3	1,5	20	31,4	H^{12}	32,1	± 0,25	2	4,7	1,2	2,06
32	3,5	1,3	1,5	21	33,7	H^{12}	34,4	± 0,25	2,5	5,2	1,2	2,21
34	3,5	1,6	2	23	33,7	H^{12}	36,5	± 0,25	2,5	5,2	1,5	3,20
35	3,5	1,6	2	24	37	H^{12}	37,8	± 0,25	2,5	5,2	1,5	3,54
36	3,5	1,6	2	25	38	H^{12}	38,8	± 0,25	2,5	5,2	1,5	3,70
37	3,5	1,6	2	26	39	H^{12}	39,8	± 0,25	2,5	5,2	1,5	3,74
38	4	1,6	2	27	40	H^{12}	40,8	± 0,25	2,5	5,3	1,5	3,90
40	4	1,85	2	28	42,5	H^{12}	43,5	± 0,39	2,5	5,7	1,75	4,70
42	4	1,85	2	30	44,5	H^{12}	45,5	± 0,39	2,5	5,8	1,75	5,40
45	4,5	1,85	2	33	47,5	H^{12}	48,5	± 0,39	2,5	5,9	1,75	6,00
47	4,5	1,85	2	34	49,5	H^{12}	50,5	± 0,46	2,5	6,1	1,75	6,10
48	4,5	1,85	2	35	50,5	H^{12}	51,5	± 0,46	2,5	6,2	1,75	6,70
50	4,5	2,15	2	37	53	H^{12}	54,2	± 0,46	2,5	6,5	2	7,30

Tabla 144

Aros elásticos de tope

(De la tabla UNI 3656)



Ejemplo de designación de un aro elástico de tope, para agujero o árbol, que tiene D = 50 mm:

Aro 50 UNI 3656

Medidas en mm

Indicación para la designación D	a ~	b	c	d	d_1	Tolerancia sobre d_1	d_2	Tolerancia sobre d_2	d_3	Tolerancia sobre d_3	d_4	e	f	r	Peso por 1000 piezas ~ kg
4	2,5	1,6	—	0,8	3,4	∓ 0,1	3,6	0 − 0,1	—	—	—	1	0,8	0,4	0,042
5	2,5	1,6	—	0,8	4,4	∓ 0,1	4,6	0 − 0,1	—	—	—	1	0,8	0,4	0,054
6	2,5	1,6	—	0,8	5,4	∓ 0,1	5,6	0 − 0,1	—	—	—	1	0,8	0,4	0,067
7	4	1,6	1,6	0,8	6,2	∓ 0,1	6,6	0 − 0,1	7,4	0 + 0,1	8,2	1	0,8	0,4	0,071
8	4	1,6	1,6	0,8	7,2	∓ 0,1	7,6	0 − 0,1	8,4	0 + 0,1	9,2	1	0,8	0,4	0,083
10	4	1,6	1,6	0,8	9,2	∓ 0,1	9,6	0 − 0,1	10,4	0 + 0,1	11,2	1	0,8	0,4	0,108
12	6	2,5	2,5	1	11	∓ 0,1	11,4	0 − 0,1	12,6	0 + 0,1	13,5	1,6	1	0,6	0,196
14	6	2,5	2,5	1	13	∓ 0,1	13,4	0 − 0,1	14,6	0 + 0,1	15,5	1,6	1	0,6	0,234
16	6	3	3	1,6	14,5	∓ 0,1	15	0 − 0,1	17	0 + 0,1	18	2	1,8	1	0,705
18	6	3	3	1,6	16,5	∓ 0,1	17	0 − 0,1	19	0 + 0,1	20	2	1,8	1	0,804
20	10	4	4	2	18,2	∓ 0,15	18,8	0 − 0,2	21,2	0 + 0,2	22,5	2,5	2,2	1,2	1,32
22	10	4	4	2	20,2	∓ 0,15	20,8	0 − 0,2	23,2	0 + 0,2	24,5	2,5	2,2	1,2	1,47
24	10	4	4	2	22,2	∓ 0,15	22,8	0 − 0,2	25,2	0 + 0,2	26,5	2,5	2,2	1,2	1,63
25	10	4	4	2	23,2	∓ 0,15	23,8	0 − 0,2	26,2	0 + 0,2	27,5	2,5	2,2	1,2	1,70
26	10	4	4	2	24,2	∓ 0,15	24,8	0 − 0,2	27,2	0 + 0,2	28,5	2,5	2,2	1,2	1,79
28	10	4	4	2	26,2	∓ 0,15	26,8	0 − 0,2	29,2	0 + 0,2	30,5	2,5	2,2	1,2	1,94
30	10	4	4	2	28,2	∓ 0,15	28,8	0 − 0,2	31,2	0 + 0,2	32,5	2,5	2,2	1,2	2,10
32	12	5	5	2,5	30	± 0,2	30,5	0 − 0,2	33,5	0 + 0,2	35,5	3	2,8	1,6	3,47
36	12	5	5	2,5	34	∓ 0,2	34,5	0 − 0,2	37,5	0 + 0,2	39,5	3	2,8	1,6	3,85
38	12	5	5	2,5	36	∓ 0,2	36,5	0 − 0,2	39,5	0 + 0,2	41,5	3	2,8	1,6	4,20
40	12	5	5	2,5	38	∓ 0,2	38,5	0 − 0,2	41,5	0 + 0,2	43,5	3	2,8	1,6	4,43
42	16	5	5	2,5	40	∓ 0,2	40,5	0 − 0,2	43,5	0 + 0,2	45,5	3	2,8	1,6	4,54
45	16	5	5	2,5	43	∓ 0,2	43,5	0 − 0,2	46,5	0 + 0,2	48,5	3	2,8	1,6	4,89
48	16	5	5	2,5	46	∓ 0,2	46,5	0 − 0,2	49,5	0 + 0,2	51,5	3	2,8	1,6	5,24
50	16	5	5	2,5	48	∓ 0,2	48,5	0 − 0,2	51,5	0 + 0,2	53,5	3	2,8	1,6	5,51
56	20	6	6	3,2	53	∓ 0,3	54	0 − 0,3	58,5	0 + 0,3	61	4	3,5	2	9,65
60	20	6	6	3,2	57	∓ 0,3	58	0 − 0,3	62,5	0 + 0,3	65	4	3,5	2	10,7
63	20	6	6	3,2	60	∓ 0,3	61	0 − 0,3	65,5	0 + 0,3	68	4	3,5	2	11,7
70	25	6	6	3,2	67	∓ 0,3	68	0 − 0,3	72,5	0 + 0,3	75	4	3,5	2	12,4
75	25	6	6	3,2	72	∓ 0,3	73	0 − 0,3	77,5	0 + 0,3	80	4	3,5	2	13,3

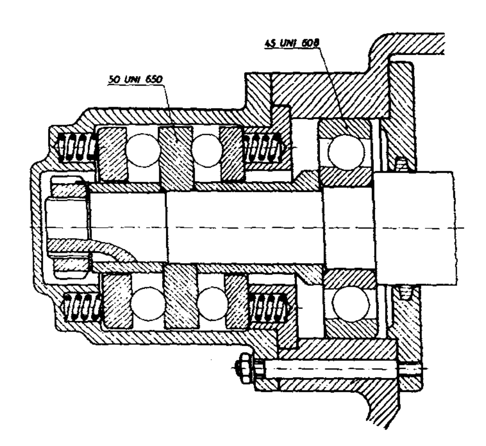


Fig. II, 385. *Para evitar que en el caso de que la velocidad periférica sea elevada y la carga muy baja, las bolas rueden irregularmente por la acción de la fuerza centrífuga, se montan unos muelles (u otros dispositivos elásticos) que aseguren sobre el cojinete una carga de 3-4 % de la admisible a 100 revoluciones. Esta aplicación de muelles es indispensable para los cojinetes axiales dobles, debido a que en este tipo de cojinetes* las bolas de la hilera no descargada, *al producirse deformaciones elásticas en los puntos de contacto entre las bolas y el canal de la hilera cargada,* quedarían libres, *de no crearse con los muelles una carga artificial.*

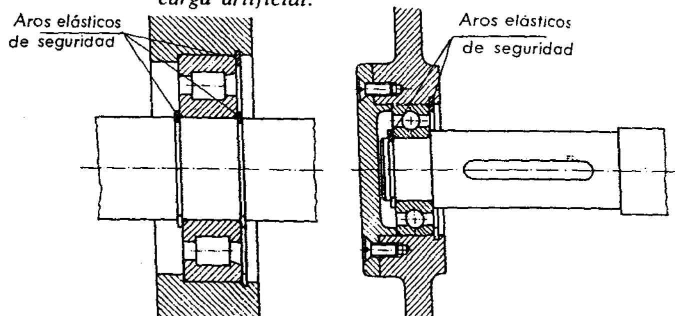
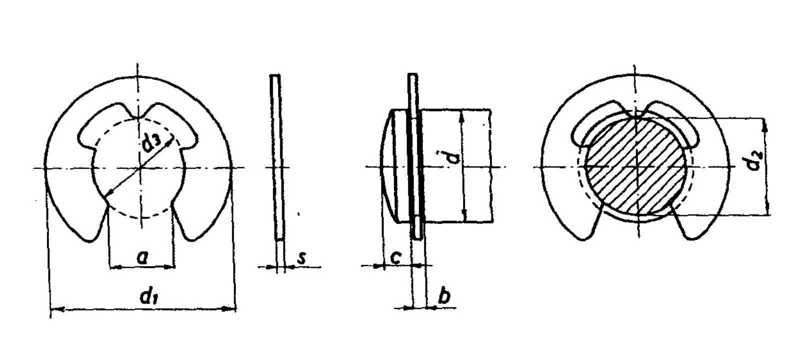


Fig. II, 386. *Montaje de cojinetes con aros elásticos de seguridad.*

Tabla 145



Aros de tope axial
Benzing DIN 6799 para árboles

La designación de estos aros está referida al diámetro d_2.

Medidas en mm

Aro					Árbol						Carga axial en kg por d	
d_3	d_1 (montado)	a^{H10}	s		d		d_2^{H11}	b		c		
			espesor	tolerancia	de	a		ranura	tolerancia		mínimo	máximo
0,8	2	0,58	0,2		1	1,4	0,8	0,24		0,4	2	3
1,2	2	1,01	0,3		1,4	2,0	1,2	0,34		0,6	4	8
1,5	4	1,28	0,4		2	2,5	1,5	0,44		0,8	7	12
1,9	4,5	1,61	0,5		2,5	3	1,9	0,54		1	10	20
2,3	6	1,94	0,6	± 0,02	3	4	2,3	0,64	+ 0,02	1	14	32
3,2	7	2,70	0,6		4	5	3,2	0,64		1	20	45
4	9	3,34	0,7		5	6	4	0,74		1,2	30	65
5	11	4,11	0,7		6	7	5	0,74		1,2	40	75
6	12	5,26	0,7		7	8	6	0,74		1,2	50	100
7	14	5,84	0,9		8	10	7	0,94		1,5	60	120
8	16	6,52	1,0		9	12	8	1,05		1,8	70	170
9	18,5	7,63	1,1		10	13	9	1,15		2	80	200
10	20	8,32	1,2		11	15	10	1,25		2	90	220
12	23	10,45	1,5	± 0,03	13	16	12	1,35	+ 0,06	2,5	100	240
15	29	12,61	1,75		16	21	15	1,55		3	130	300
19	37	15,92	1,75		20	30	19	1,80		3,5	150	425
24	44	21,88	2,0		25	38	24	2,05		4,0	200	550

75. Control de la selección de los cojinetes y tolerancias del árbol y de los alojamientos

Para facilitar el control de la selección de un cojinete, es decir, para comprobar rápidamente si un tipo de cojinete es o no apropiado para determinadas condiciones de carga, se ha compilado una tabla sencillísima, en la cual, para cada tipo de cojinete y para cada condición de carga, se indica con **sí, no** o **poco** el grado en que es aplicable la selección efectuada (tabla 146).

Una vez escogido el cojinete, se ha de elegir el ajuste del aro interior con el árbol y del aro exterior con el alojamiento.

Las tolerancias del árbol varían según la carga de **g6** a **p6;** las de los alojamientos de **G6** a **P6** y para los asientos de quicionera fijos de cojinetes axiales pasan a **E8.**

Para facilitar las indicaciones de estas tolerancias se han compilado, sirviéndose de publicaciones técnicas sobre dicha especialidad, dos tablas, una para los árboles (tabla 147) y otra para los alojamientos (tabla 147 bis) que contienen, además de las diferencias de las diversas zonas de tolerancia, numerosos ejemplos de aplicaciones de los diferentes tipos de cojinetes.

Aquí conviene advertir que, como se ha dicho ya sobre las chavetas y lengüetas, por lo general no se determinan por cálculos los tipos de cojinetes que se emplearán, debido a que todos los cojinetes, si están debidamente seleccionados y montados correctamente, resisten normalmente los esfuerzos para que está calculado el árbol correspondiente. En las tablas citadas se contienen también las tolerancias medias del diámetro del agujero del cojinete (tabla 147) y del diámetro exterior (tabla 147 bis).

Al empezar a tratar en los próximos capítulos de la transmisión del movimiento de rotación mediante engranajes, se presentarán numerosas figuras referentes a la aplicación de los cojinetes en varios casos prácticos, sacados de las publicaciones técnicas sobre la materia.

Antes de tratar de las arandelas de obturación y juntas empleadas en los cojinetes de rodamiento, hemos reunido en cuatro tablas con el n.° 148, varios ejemplos de aplicación, entresacados de las revistas técnicas de la RIV, con las correspondientes explicaciones. El estudio de estas tablas será de gran utilidad para el dibujante.

76. Lubricación de los cojinetes

Los cojinetes se han de lubricar necesariamente, tanto para facilitar los deslizamientos entre las piezas rodantes y los aros y entre dichas piezas y las jaulas, como para mantener engrasadas las superficies bruñidas de las piezas de rodamiento y de sus respectivos asientos, evitando su corrosión y otras acciones causadas por los agentes atmosféricos; y también, finalmente, en algunos casos, para dispersar el calor que se produce inevitablemente en el funcionamiento, en los cojinetes.

Un cojinete bien lubricado tiene, además, una marcha más silenciosa. Para la lubricación se puede emplear grasa o aceite, cada uno de los cuales tiene características propias.

La lubricación con grasa se emplea siempre que sea posible; tiene las ventajas de poderse retener mejor en los soportes, ser de más fácil manipulación, debido a su consistencia, y permitir dispositivos de lubricación más sencillos y económicos. Por lo cual se recomienda esta lubricación para los cojinetes para ella adaptados, que permiten la fácil difusión de la grasa por los intersticios, cuando se trata de la posibilidad de salida del lubricante de los soportes, cuando se requiere una protección segura contra la humedad o los agentes corrosivos y cuando conviene evitar el goteo de lubricante de los soportes, que podría perjudicar los productos (por ejemplo, textiles, alimenticios, etcétera).

Como norma general, dado el diámetro **d** en mm del agujero del cojinete y el número **n** de revoluciones por minuto, se emplea la lubricación con grasa cuando el producto $\mathbf{d} \times \mathbf{n}$ no es mayor que 300 000-500 000 (para cojinetes con $d \leq 50$ mm); para valores mayores de **d**, las cifras anteriores se han de dividir por $50/d$.

Si la temperatura de funcionamiento del cojinete no está comprendida en —15° C y 150° C, se han de emplear lubricantes especiales aconsejados en cada caso particular por el fabricante de cojinetes.

Hay casos en que no es posible la lubricación con grasa y se ha de lubricar con aceite; los más típicos son aquellos en que es necesario el enfriamiento; los soportes de árbol vertical, con grupos de cojinetes; los soportes de difícil acceso, en los que convenga comprobar rápidamente la presencia del lubricante.

Los dispositivos para la lubricación con grasa y con aceite están representados en las figuras.

Para la lubricación con grasa basta que haya espacio suficiente para el lubricante y que los árboles y las cajas estén provistos de protecciones adecuadas para impedir la salida de la grasa y la entrada de impurezas desde el exterior.

Para esta clase de lubricación, el sistema de protección más empleado consiste en una arandela de fieltro alojada en una ranura circular de sección trapecial, practicada en el soporte.

En la tabla 149 se hallarán las medidas de las ranuras y de los fieltros, aconsejadas por la RIV.

Es esencial que la superficie del árbol que está en contacto con los fieltros esté perfectamente bruñida. En las figuras II, 387-388 se ven algunos dispositivos para alojar los fieltros.

Se emplean también juntas de anillos de materia sintética (tabla 150).

Hay otros sistemas de protección como los de dos arandelas de fieltro o los dispositivos de laberinto

Tabla 146

Cuadro resumen para la aplicación de los diversos tipos de cojinetes

Tipo de cojinete	Cargas radiales	Cargas con empuje axial	Posibilidad de mutuo corrimiento longitudinal		Montajes que necesitan cojinetes desmontables	Compensación de defectos de alineación	Ejecución de mucha precisión	Número de revoluciones muy superior al límite normal	Movimiento muy silencioso	Fijación con manguitos
			De las partes internas del cojinete con los dos aros prensados	Entre el agujero y su asiento o entre la superficie externa y su asiento						
	sí	sí	no	sí	no	poco	sí	sí	si	poco
	sí	sí	poco	poco	sí	poco	sí	sí	sí	no
	sí	sí	no	poco	poco	no	sí	sí	sí	no
	sí	sí	no	sí	no	no	no	poco	sí	sí
	sí	poco	no	sí	no	sí	no	no	no	sí
	sí	no	sí	no	sí	poco	sí	sí	sí	poco
	sí	poco	poco	no	si	poco	sí	no	no	no
	sí	poco	no	no	si	poco	si	no	no	no
	sí	no	sí	no	sí	no	no	no	no	no
	sí	sí	no	poco	sí	poco	sí	poco	no	no
	si	poco	no	si	no	si	no	no	no	si
	si	si	no	si	no	si	no	no	no	si
	no	si	no	no	sí	no	si	no	no	no
	no	si	no	no	si	no	no	no	no	no

Tolerancias de árboles para el montaje de cojinetes

Tipo de carga	Ejemplos de aplicación	Zona de tolerancia	Tolerancias del árbol (μ) — Medidas nominales (mm): de 3 a 6	de 6 a 10	de 10 a 18	de 18 a 30	de 30 a 50	de 50 a 80	de 80 a 120	de 120 a 180	de 180 a 250	de 250 a 315	de 315 a 400	de 400 a 500
Carga fija sobre el aro interior	Ruedas delanteras de automóviles: exteriormente cojinetes de bolas para empujes oblicuos. Ruedas de desplazamiento de grúas: cojinetes de rodillos de barrilete de una o dos hileras de rodillos.	g 6	− 4 − 12	− 5 − 14	− 6 − 17	− 7 − 20	− 9 − 25	− 10 − 29	− 12 − 34	− 14 − 39	− 15 − 44	− 17 − 49	− 18 − 54	− 20 − 60
	Pequeños motores eléctricos: cojinetes radiales rígidos, de bolas.	h 5	0 − 5	0 − 6	0 − 8	0 − 9	0 − 11	0 − 13	0 − 15	0 − 18	0 − 20	0 − 23	0 − 25	0 − 27
	Ruedas delanteras de automóviles: interiormente cojinetes de bolas para empujes oblicuos; exteriormente cojinetes de rodillos cónicos. Volantes polipastos de grúa, poleas para cables, cojinetes a rótula de una o dos hileras de rodillos de barrilete.	h 6	0 − 8	0 − 9	0 − 11	0 − 13	0 − 16	0 − 19	0 − 22	0 − 25	0 − 29	0 − 32	0 − 36	0 − 40
Carga giratoria, o carga alternativa o carga de dirección indeterminada	Árbol del piñón en los automóviles: cojinetes de dos hileras de bolas para empujes oblicuos. Pequeños motores: cojinetes radiales rígidos, de bolas. Dínamo: cojinetes ídem, de bolas desmontables. Husillos de máquinas herramientas: cojinetes radiales de bolas, rígidos y cojinetes de bolas de empujes oblicuos. Husillos de máquinas de labrar madera: cojinetes de bolas, rígidos.	j 5	+ 4 − 1	+ 4 − 2	+ 5 − 3	+ 5 − 4	+ 6 − 5	+ 6 − 7	+ 6 − 9	+ 7 − 11	+ 7 − 13	+ 7 − 16	+ 7 − 18	+ 7 − 20
	Ruedas de automóviles: cojinetes de rodillos cónicos, cojinetes para empujes oblicuos y cojinetes radiales de bolas, rígidos. Árbol del piñón en los automóviles: cojinetes de rodillos cónicos y cojinetes de bolas para empujes oblicuos.	j 6	+ 7 − 1	+ 7 − 2	+ 8 − 3	+ 9 − 4	+ 11 − 5	+ 12 − 7	+ 13 − 9	+ 14 − 11	+ 16 − 13	+ 16 − 16	+ 18 − 18	+ 20 − 20
	Motores eléctricos: cojinetes de bolas radiales, rígidos y cojinetes de rodillos cilíndricos (para agujeros hasta 60 mm). Husillos de máquinas herramientas: cojinetes de rodillos cónicos y de rodillos cilíndricos. Ventiladores rápidos: cojinetes de bolas radiales, rígidos.	k 5	— —	+ 7 + 1	+ 9 + 1	+ 11 + 2	+ 13 + 2	+ 15 + 2	+ 18 + 3	+ 21 + 3	+ 24 + 4	+ 27 + 4	+ 29 + 4	+ 32 + 5
	Cigüeñales de motores de explosión ligeros: cojinetes de bolas radiales, rígidos. Árboles del piñón de automóviles: cojinetes de rodillos cónicos. Ruedas delanteras de automóviles: interiormente, cojinetes de rodillos cónicos. Poleas para cables: cojinetes de rodillos cilíndricos (aro interior fijo).	k 6	— —	+ 10 + 1	+ 12 + 1	+ 15 + 1	+ 18 + 2	+ 21 + 2	+ 25 + 3	+ 28 + 3	+ 33 + 4	+ 36 + 4	+ 40 + 4	+ 45 + 5
	Laminadores: cojinetes de rodillos cilíndricos. Motores eléctricos: cojinetes de rodillos cilíndricos y cojinetes de rodillos de barrilete, a rótula (para agujeros de más de 60 mm). Husillos pesados de máquinas herramientas: cojinetes de rodillos cónicos y de rodillos cilíndricos. Ventiladores rápidos: cojinetes de rodillos cilíndricos.	m 5	+ 9 + 4	+ 12 + 6	+ 15 + 7	+ 17 + 8	+ 20 + 9	+ 24 + 11	+ 28 + 13	+ 33 + 15	+ 37 + 17	+ 43 + 20	+ 46 + 21	+ 50 + 23
	Cigüeñales de motores de explosión medianos y de motores Diesel ligeros: cojinetes de bolas radiales, rígidos. Polipastos de grúa: cojinetes de rodillos cilíndricos. Motores eléctricos: como el caso anterior. Cajas de grasa para ferrocarriles: cojinetes de rodillos cilíndricos y cojinetes de rodillos de barrilete a rótula (d > 90 mm).	m 6	+ 12 + 4	+ 15 + 6	+ 18 + 7	+ 21 + 8	+ 25 + 9	+ 30 + 11	+ 35 + 13	+ 40 + 15	+ 46 + 17	+ 52 + 20	+ 52 + 21	+ 63 + 23
	Cigüeñales de motores Diesel medianos y pesados: cojinetes de rodillos cilíndricos y cojinetes de rodillos de barrilete, a rótula. Cribas sacudidoras: cojinetes de rodillos de barrilete, a rótula, cojinetes de rodillos cilíndricos. Motores eléctricos para vehículos: cojinetes de rodillos cilíndricos y cojinetes de rodillos de barrilete, a rótula (d > 90 mm).	n 6	+ 16 + 8	+ 19 + 10	+ 23 + 12	+ 28 + 15	+ 33 + 17	+ 39 + 20	+ 45 + 23	+ 52 + 27	+ 60 + 31	+ 66 + 34	+ 73 + 37	+ 80 + 40
	Rodillos transportadores de hornos giratorios: cojinetes de rodillos cilíndricos. Sierras de hojas múltiples, gorrones de manivelas: cojinetes de rodillos de barrilete, a rótula. Bielas de acoplamiento de locomotoras: cojinetes de rodillos cilíndricos y cojinetes de rodillos de barrilete, a rótula.	p 6	+ 20 + 12	+ 24 + 15	+ 29 + 18	+ 35 + 22	+ 42 + 26	+ 51 + 32	+ 59 + 37	+ 38 + 43	+ 79 + 50	+ 88 + 56	+ 98 + 62	+ 108 + 68
Tolerancia del diámetro del agujero del cojinete: UNI 654.			− 10 0	− 10 0	− 10 0	− 10 0	− 12 0	− 15 0	− 20 0	− 25 0	− 30 0	− 35 0	− 40 0	− 45 0

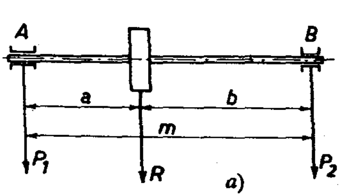
Tabla 147 bis

Tolerancias de alojamientos para el montaje de cojinetes

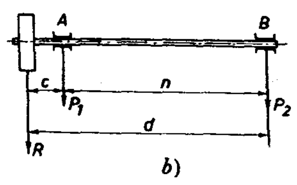
Tipo de carga	Ejemplos de aplicación		Tolerancias de alojamiento — Medidas nominales en mm: de 6 a 10	de 10 a 18	de 18 a 30	de 30 a 50	de 50 a 80	de 80 a 120	de 120 a 180	de 180 a 250	de 250 a 315	de 315 a 400	de 400 a 500
Carga localizada en un punto del aro exterior	Dinamo: cojinetes de bolas radiales, desmontables, rígidos.	G 6	+ 14 + 5	+ 17 + 6	+ 20 + 7	+ 25 + 9	+ 29 + 10	+ 34 + 12	+ 39 + 14	+ 44 + 15	+ 49 + 17	+ 54 + 18	+ 60 + 20
	Árbol del piñón en automóviles: asiento mecanizado para el aro exterior regulable de cojinetes de rodillos cónicos. Laminadores: cojinetes radiales de rodillos de barrilete, a rótula y cojinetes radiales de rodillos, con diámetro exterior > 250 mm.	H 6	+ 9 0	+ 11 0	+ 13 0	+ 16 0	+ 19 0	+ 22 0	+ 25 0	+ 29 0	+ 32 0	+ 36 0	+ 40 0
	Cilindros dentados de laminadores: cojinetes radiales de rodillos de barrilete, a rótula, montados en soportes de una sola pieza. Poleas para cables de máquinas para minería: cojinetes radiales de rodillos de barrilete, a rótula. Árbol principal de máquinas navales, cojinetes portatornillos y pivotes: cojinetes radiales de rodillos de barrilete, a rótula. Vehiculos sobre carriles: cojinetes radiales de rodillos cilíndricos, rígidos y cojinetes a rótula, montados en cajas de grasa, de una sola pieza.	H 7	+ 15 0	+ 18 0	+ 21 0	+ 25 0	+ 30 0	+ 35 0	+ 40 0	+ 46 0	+ 52 0	+ 57 0	+ 63 0
	Alojamientos de cojinetes en máquinas agrícolas. Transmisiones: cojinetes de bolas radiales, a rótula, y radiales de rodillos de barrilete, a rótula.	H 8	+ 22 0	+ 27 0	+ 33 0	+ 39 0	+ 46 0	+ 54 0	+ 63 0	+ 72 0	+ 81 0	+ 89 0	+ 97 0
	Ruedas de automóviles: cojinetes de rodillos cónicos y cojinetes radiales de bolas, rígidos. Piñones de automóviles: cojinetes de dos hileras de bolas para empujes oblicuos y cojinetes de rodillos cónicos regulables. Motores eléctricos: cojinetes de bolas radiales, rígidos y cojinetes radiales de rodillos de barrilete, a rótula, en función de cojinetes de asiento deslizante axialmente. Husillos de máquinas herramientas: cojinetes de bolas radiales rígidos y cojinetes de bolas para empujes oblicuos. Laminadores: cojinetes radiales de rodillos cilíndricos, hasta 250 mm de diámetro exterior.	J 6	+ 5 − 4	+ 6 − 5	+ 8 − 5	+ 10 − 6	+ 13 − 6	+ 16 − 6	+ 18 − 7	+ 22 − 7	+ 25 − 7	+ 29 − 7	+ 33 − 7
	Molinos de martillos: cojinetes radiales de rodillos de barrilete, a rótula, en función de cojinetes de ajuste libre axialmente. Vehículos sobre carriles; cojinetes radiales de rodillos cilíndricos y cojinetes radiales de rodillos de barrilete, a rótula, en cajas de dos piezas.	J 7	+ 8 − 7	+ 10 − 8	+ 12 − 9	+ 14 − 11	+ 18 − 12	+ 22 − 13	+ 26 − 14	+ 30 − 16	+ 36 − 16	+ 39 − 18	+ 43 − 20
Carga giratoria, carga oscilante y carga de dirección indeterminada sobre el aro exterior	Árbol del piñón en automóviles: cojinetes radiales de rodillos cilíndricos, cojinetes de rodillos cónicos no regulables en el aro exterior. Motores de combustión ligeros, árbol de maniobra: cojinetes de bolas radiales, rígidos. Motores eléctricos: cojinetes radiales de rodillos, rígidos y cojinetes radiales de rodillos de barrilete, a rótula, en función de cojinetes de asiento prensado (fijo). Husillos de máquinas herramientas: cojinetes de rodillos cónicos y cojinetes de rodillos cilíndricos rígidos. Volantes: cojinetes de rodillos cilíndricos, cuando hay una carga giratoria sobre el arco interior.	K 6	+ 2 − 7	+ 2 − 9	+ 2 − 11	+ 3 − 13	+ 4 − 15	+ 4 − 18	+ 4 − 21	+ 5 − 24	+ 5 − 27	+ 7 − 29	+ 8 − 32
	Laminadores, cilindros dentados: cojinetes radiales de rodillos, rígidos. Motores de combustión medianos y motores diesel ligeros, cigüeñales: cojinetes de bolas radiales, rígidos.	K 7	+ 5 − 10	+ 6 − 12	+ 6 − 15	+ 7 − 18	+ 9 − 21	+ 10 − 25	+ 12 − 28	+ 13 − 33	+ 16 − 36	+ 17 − 40	+ 18 − 45
	Motores eléctricos para autotracción: cojinetes radiales de rodillos cilíndricos. Motores eléctricos: cojinetes radiales de rodillos de barrilete, a rótula, empleados como cojinetes fijos. Husillos de máquinas herramientas: cojinetes radiales de rodillos cilíndricos.	M 6	− 3 − 12	− 4 − 15	− 4 − 17	− 4 − 20	− 5 − 24	− 6 − 28	− 8 − 33	− 8 − 37	− 9 − 41	− 10 − 46	− 10 − 50
	Polipastos de grúa: cojinetes radiales de rodillos de barrilete, a rótula, cuando haya una carga giratoria sobre el aro exterior.	M 7	0 − 15	0 − 18	0 − 21	0 − 25	0 − 30	0 − 35	0 − 40	0 − 46	0 − 52	0 − 57	0 − 63
	Cubos de ruedas delanteras de automóviles: cojinetes de rodillos cónicos, cojinetes de bolas para empujes oblicuos, cojinetes radiales de rodillos, rígidos. Motores eléctricos de tracción: cojinetes radiales de rodillos cilíndricos, fuertemente cargados. Bielas de enlace de locomotoras: cojinetes radiales de rodillos de barrilete, a rótula y cojinetes radiales de rodillos cilíndricos, rígidos.	N 6	− 7 − 16	− 9 − 20	− 11 − 24	− 12 − 28	− 14 − 33	− 16 − 38	− 20 − 45	− 22 − 51	− 25 − 57	− 26 − 62	− 27 − 67
	Cubos como el caso anterior. Polipastos de grúa: cojinetes radiales de rodillos, rígidos, si hay una carga giratoria en el aro exterior.	N 7	− 4 − 19	− 5 − 23	− 7 − 28	− 8 − 33	− 9 − 39	− 10 − 45	− 12 − 52	− 14 − 60	− 14 − 66	− 16 − 73	− 17 − 80
	Cubos como en el caso anterior, para cargas débiles. Sierras de hojas múltiples: cojinetes radiales de rodillos de barrilete, a rótula y cojinetes radiales de rodillos cilíndricos, rígidos. Polipastos de grúa: cojinetes radiales de rodillos de barrilete, a rótula, cuando la carga origina fuerzas de choque sobre el aro exterior.	P 6	− 12 − 21	− 15 − 26	− 18 − 31	− 21 − 37	− 26 − 45	− 30 − 52	− 36 − 61	− 41 − 70	− 47 − 79	− 51 − 87	− 55 − 95
Carga exclusivamente axial	Quicioneras fijas de cojinetes axiales de bolas, de cualquier tipo, en funcionamiento normal.	E 8	+ 47 + 25	+ 59 + 32	+ 73 + 40	+ 89 + 50	+ 106 + 60	+ 126 + 72	+ 148 + 85	+ 172 + 100	+ 191 + 110	+ 214 + 125	+ 332 + 136
Tolerancias del diámetro exterior del cojinete (UNI 654).				0 − 8	0 − 9	0 − 11	0 − 13	0 − 15	0 − 25	0 − 30	0 − 35	0 − 40	0 − 45

Ejemplos típicos de aplicaciones de cojinetes de rodamiento

Montajes para cargas radiales. Esquemas de carga

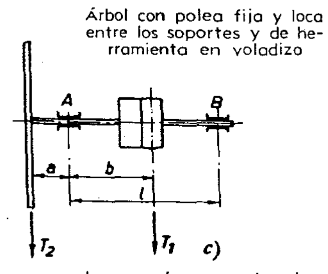


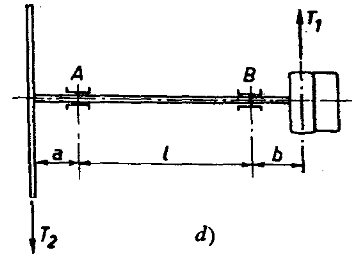
Árbol con polea o rueda motriz entre los soportes



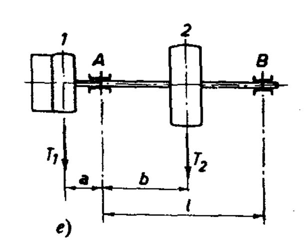
Árbol con polea o rueda motriz en voladizo

Árbol con polea fija y loca entre los soportes y de herramienta en voladizo



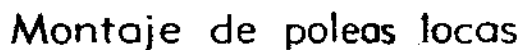


Árbol con polea fija y loca y de herramienta en voladizo

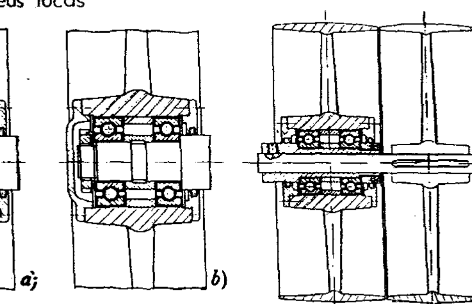


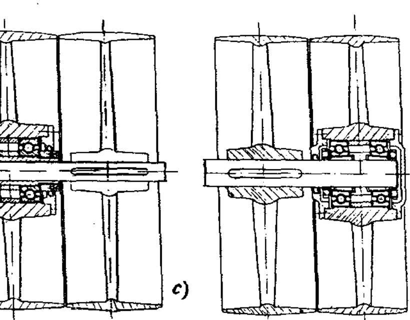
Árbol con polea fija y loca en voladizo y polea motriz o volante entre los soportes

Lo primero que hay que hacer, antes de seleccionar el tipo de cojinete de rodamiento que se desea montar en un árbol, es considerar el esquema de carga que gravita sobre el cojinete. En los casos representados en estos esquemas, se ven poleas fijas y locas montadas sobre árboles de ejes horizontales o ruedas dentadas cilíndricas de dientes rectos o de flecha. En este caso (exceptuando algunas cargas instantáneas o de corta duración) las cargas de los soportes son siempre radiales exclusivamente. Por lo tanto, en todos estos casos y los similares se han de emplear cojinetes apropiados para cargas radiales. Otras consideraciones inclinarán a escoger uno u otro tipo de estos cojinetes, como se verá en los ejemplos de montaje que siguen.

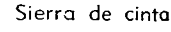


Montaje de poleas locas





La disposición indicada en la figura a) es errónea porque falta la dolla distanciadora entre los aros exteriores; esto puede provocar la centrifugación del lubricante hacia el hueco existente entre dichos dos aros exteriores; hay pues el peligro de que los cojinetes lleguen a funcionar sin lubricante. La disposición de la figura b) es la conveniente por cuanto tiene la dolla distanciadora que evita el inconveniente señalado para el montaje a). Esta dolla exterior, que no tiene por objeto inmovilizar, ha de tener una longitud tal que deje un pequeñísimo juego axial, de modo que al cerrar las tapas, los cojinetes no queden cargados axialmente.
La figura c) representa un montaje racional efectuado sobre un árbol sin resalto. Se ve en dicha figura que los cojinetes de la polea loca no están montados directamente sobre el árbol, sino sobre un manguito cilíndrico interpuesto entre el cojinete y el árbol. Este manguito se desliza sobre el árbol hasta la posición deseada, donde se fija con tornillo de presión.
La figura d) representa un montaje análogo, para el caso de emplear cojinetes con manguitos de calado cónicos, colocados directamente sobre el árbol. La separación de los aros interiores, mediante rebajos adecuados, dada la forma cónica de los manguitos de calado, tiene por objeto facilitar el montaje y hacer posible la buena regulación de la posición en que se han de fijar los cojinetes.



Sierra de cinta

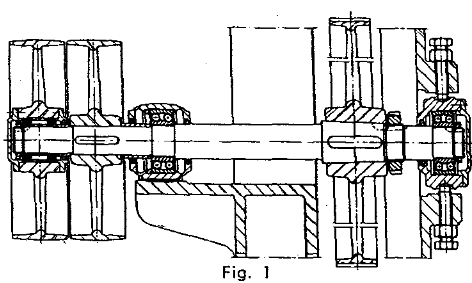


Fig. 1

Sierra circular

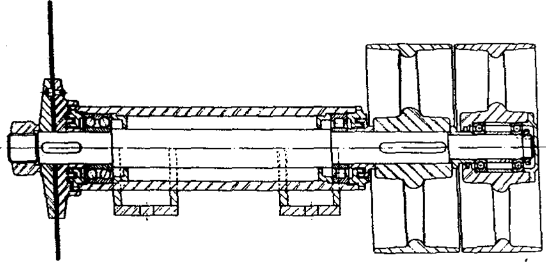


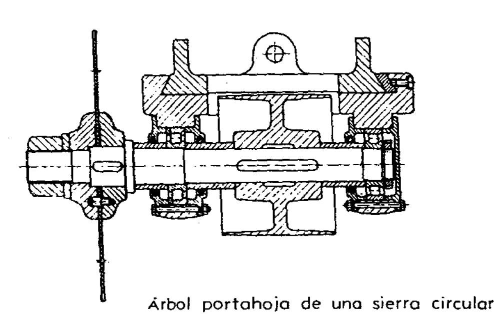
Fig. 2

La figura 1 corresponde al esquema de carga e). Se han empleado dos cojinetes de bolas, a rótula, de la misma serie y del mismo tamaño. El cojinete del soporte a la izquierda está fijado axialmente; en cambio el de la derecha puede deslizarse axialmente para permitir eventuales variaciones de longitud del árbol. Es interesante el detalle de construcción del soporte de la derecha, montado sobre un tornillo de regulación de su altura, lo que permite un fácil centrado.

En el montaje indicado en la figura 2, correspondiente a una sierra circular, se ha aplicado al soporte de la hoja un cojinete oblicuo de dos hileras de bolas; al otro soporte se ha aplicado un cojinete de rodillos cilíndricos, desmontable sobre el aro interior. Los dos cojinetes están fijados axialmente, debido a que las eventuales dilataciones del árbol por aumento de temperatura, son posibles por la forma desmontable del cojinete de rodillos cilíndricos.

Ejemplos típicos de aplicaciones de cojinetes de rodamiento (continuación)

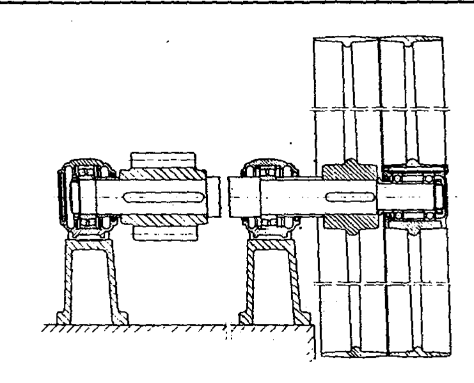
Montaje para cargas radiales (continuación)



Árbol portahoja de una sierra circular

Fig. 3. Otro montaje de un árbol portahoja de una sierra circular. El esquema de carga corresponde al tipo c). El árbol está sostenido por dos cojinetes de rodillos cilíndricos, uno de los cuales es de forma cerrada, con un reborde de guía sobre el aro exterior que asegura la fijación axial del árbol; el otro aro exterior desmontable permite la dilatación térmica del árbol. Se han seleccionado cojinetes de rodillos cilíndricos porque resisten mejor que los de bolas las cargas radiales fuertes y acompañadas de choques y vibraciones. Nótese el tipo cerrado del soporte que protege los cojinetes contra los agentes exteriores, asegurando además la retención del lubricante.

Fig. 4. Realiza el esquema de carga e). El árbol de accionamiento está montado sobre cojinetes de rodillos de barrilete dispuestos convenientemente en los soportes. La posición del árbol y su fijación en sentido axial está asegurada por adecuados anillos distanciadores que actúan sobre el aro exterior del cojinete del soporte de la derecha.
El montaje de la polea loca se ha efectuado con dos cojinetes de bolas de ranura profunda; para fijar la posición exacta de los cojinetes y evitar la centrifugación de la grasa, se han colocado anillos distanciadores, tanto entre los aros exteriores como entre los interiores de los cojinetes.



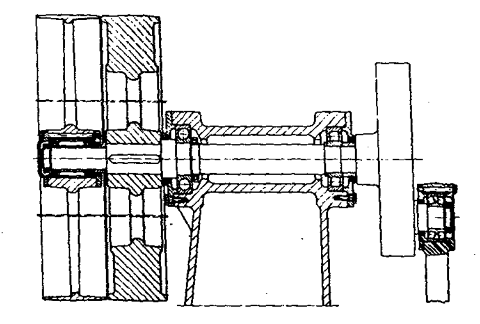


Fig. 5. Corresponde al esquema de carga d) y representa un eje de manivela. El árbol de accionamiento está montado sobre dos cojinetes, de los cuales, el del lado de la manivela es de rodillos cilíndricos y de forma abierta. El del otro lado es de bolas y de ranura profunda y fija el árbol en dirección axial, asegurando además, la absorción de eventuales empujes axiales que se puedan producir. La disposición adoptada confiere mayor robustez al apoyo inmediato a la manivela que al más cargado. En la cabeza de la biela va montado un cojinete a rótula de doble hilera de rodillos de barrilete que tiene una gran capacidad de carga y da un perfecto ajuste a la biela, tanto en el montaje como en funcionamiento.

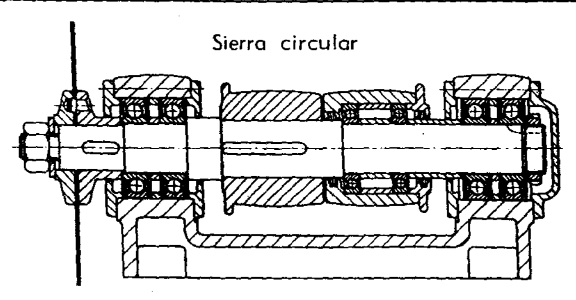


Fig. 6. El esquema de carga es también el e) y representa una sierra circular, empleándose cojinetes de bolas estancos para la protección contra el polvo y agentes exteriores. En cada soporte están acoplados los dos cojinetes mediante un distanciador calibrado, sea interior o exterior. El par de cojinete del soporte próximo a la sierra está fijado axialmente, mientras que el par de cojinetes del otro soporte tiene cierta posibilidad de deslizamiento longitudinal en su alojamiento.

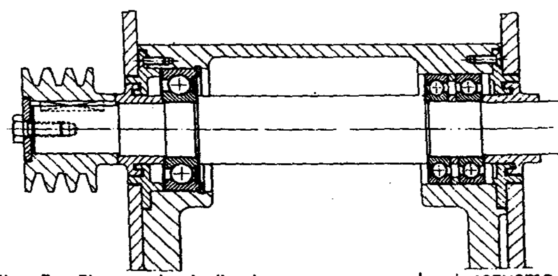
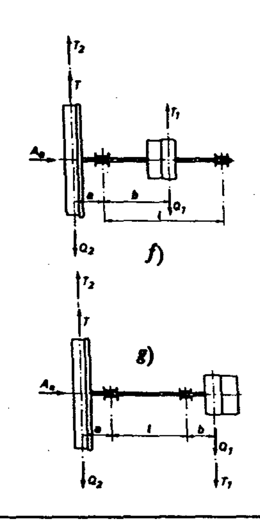
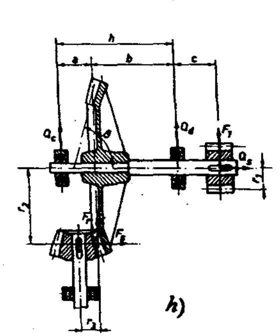


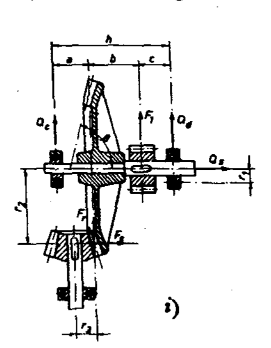
Fig. 7. El montaje indicado, que corresponde al esquema de carga b) se puede realizar cuando se exige una absoluta rigidez del árbol y una garantía de la perfecta alineación de los apoyos. En el soporte de la izquierda está montado, con ajuste axial prensado, un cojinete radial de bolas, rígido, protegido; en el soporte de la derecha, un par de cojinetes radiales de bolas, rígidos, montados con ajuste de deslizamiento en el alojamiento del soporte. Evidentemente no son admisibles desalineaciones de los soportes, con este tipo de montaje.

Ejemplos típicos de aplicaciones de cojinetes de rodamiento (continuación)

Montaje para cargas axiales. Esquemas de carga







Los esquemas f), g), h), i) representan ejemplos de árboles de transmisión en los que existe siempre, durante el funcionamiento, un empuje axial, además de las cargas radiales sobre los cojinetes. Es absolutamente indispensable tener en cuenta estas cargas radiales, tanto en la selección como en el montaje de los cojinetes. Los esquemas f) y g) corresponden a una sierra de cinta, en la que el empuje axial es debido a la presión de la cinta contra el reborde de la polea.

Reductor de velocidad con gran aro giratorio

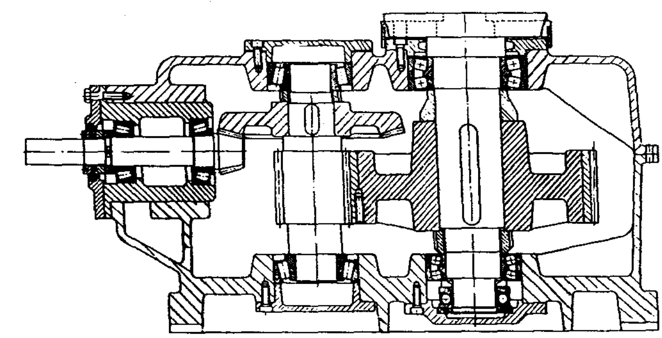


Fig. 8. Sobre el árbol horizontal del piñón cónico y sobre el vertical intermedio que lleva los engranajes reductores de velocidad, se han aplicado dos cojinetes de rodillos cónicos, dispuestos con las conicidades en sentidos opuestos. El árbol vertical del gran aro giratorio está montado sobre dos cojinetes a rótula de rodillos, para permitir eventuales flexiones del árbol de rotación o ligeras desalineaciones de los soportes, que puedan producirse por la acción de las cargas de trabajo, finalmente un cojinete axial de bolas, de simple efecto, con contraplaca esférica de asiento, que asegura la repartición uniforme de la carga sobre su apoyo. Se llama la atención sobre el montaje del árbol horizontal sobre un cilindro adecuado que además de permitir un montaje más fácil del grupo árbol-cojinetes, facilita el reglaje exacto del engrane del piñón. Un ejemplo de montaje semejante se verá en la figura II, 488.

Transmisión de cosechadora

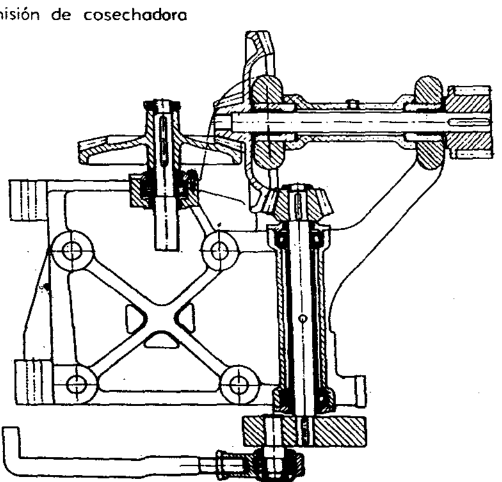


Fig. 9. El árbol del piñón cilíndrico está montado sobre agujas, a fin de lograr una pequeña dimensión radial. Los aros de contención de las agujas forman un laberinto que asegura una buena protección. Los eventuales desequilibrios en el empuje debidos al engranaje cónico de doble dentado, son absorbidos por las arandelas de bronce. El árbol de la manivela está sostenido por dos cojinetes de rodillos cónicos con conicidad divergente, montados sobre el árbol sin fijadores, con auxilio de un distanciador fijado mediante una chaveta transversal. Mediante los adecuados espesores de arandelas interpuestos entre las tapas y los flancos de los aros exteriores, se efectúa el ajuste de los cojinetes.

Grupo de accionamiento de una segadora

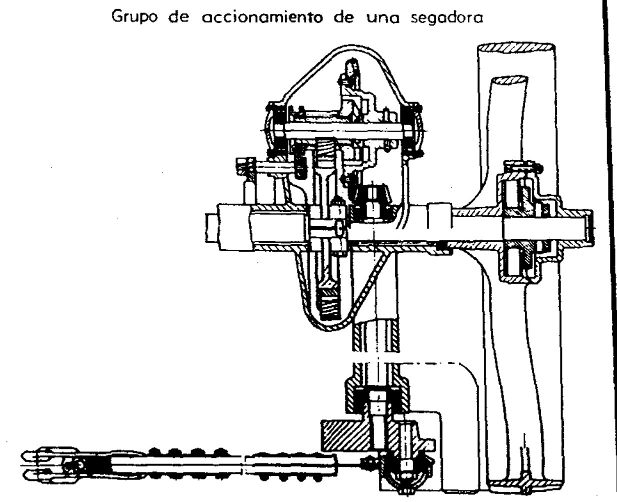


Fig. 10. En este grupo, el árbol de reenvío y el de la manivela están montados con cojinetes rígidos de una hilera de bolas que, como ya se ha indicado, son capaces de resistir, además de las cargas radiales, los empujes axiales procedentes de los engranajes. Como ya se ha indicado para otros casos, la aplicación de estos cojinetes exige que los alojamientos estén mecanizados de modo que quede asegurada una buena alineación. La cabeza de la biela está montada con un cojinete a rótula de dos hileras y de bolas, para poder soportar las fuertes cargas instantáneas y consentir eventuales flexiones laterales de la biela,

Ejemplos típicos de aplicaciones de cojinetes de rodamiento (continuación)

Aplicaciones varias

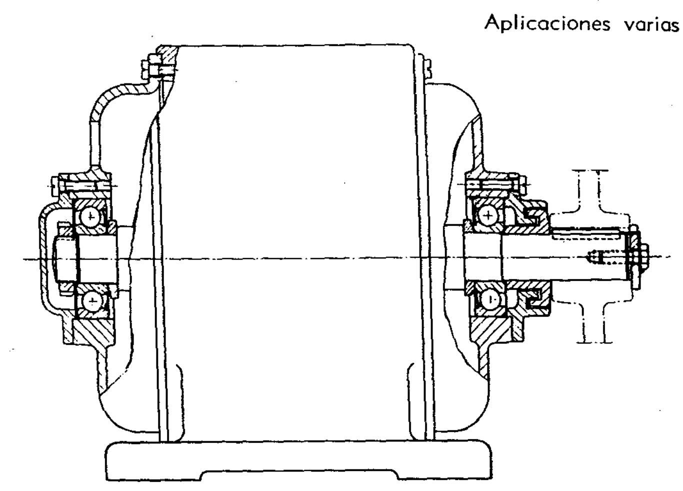


Fig. 11. Motor eléctrico. Montaje del eje.

Fig. 11. Los cojinetes de bolas sólo están protegidos por un lado, pues esta protección basta para impedir el paso de la grasa lubricante sobre los devanados eléctricos. Se ha procurado el mínimo tamaño para poder reducir la longitud del eje, obteniendo un mecanizado más sencillo de las corazas y tapas. Los aros interiores están fijos mientras que los exteriores permiten pequeños corrimientos axiales para las dilataciones térmicas del eje.

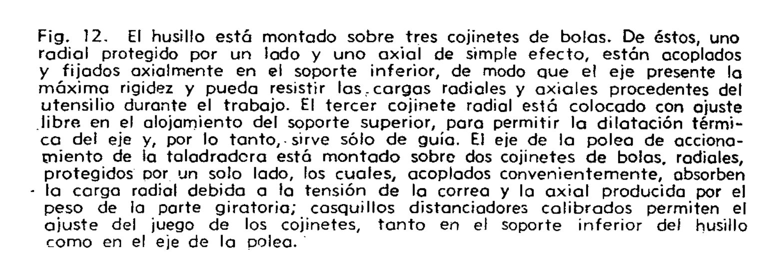


Fig. 12. El husillo está montado sobre tres cojinetes de bolas. De éstos, uno radial protegido por un lado y uno axial de simple efecto, están acoplados y fijados axialmente en el soporte inferior, de modo que el eje presente la máxima rigidez y pueda resistir las cargas radiales y axiales procedentes del utensilio durante el trabajo. El tercer cojinete radial está colocado con ajuste libre en el alojamiento del soporte superior, para permitir la dilatación térmica del eje y, por lo tanto, sirve sólo de guía. El eje de la polea de accionamiento de la taladradora está montado sobre dos cojinetes de bolas, radiales, protegidos por un solo lado, los cuales, acoplados convenientemente, absorben la carga radial debida a la tensión de la correa y la axial producida por el peso de la parte giratoria; casquillos distanciadores calibrados permiten el ajuste del juego de los cojinetes, tanto en el soporte inferior del husillo como en el eje de la polea.

Fig. 12. Transmisión de una taladradora vertical.

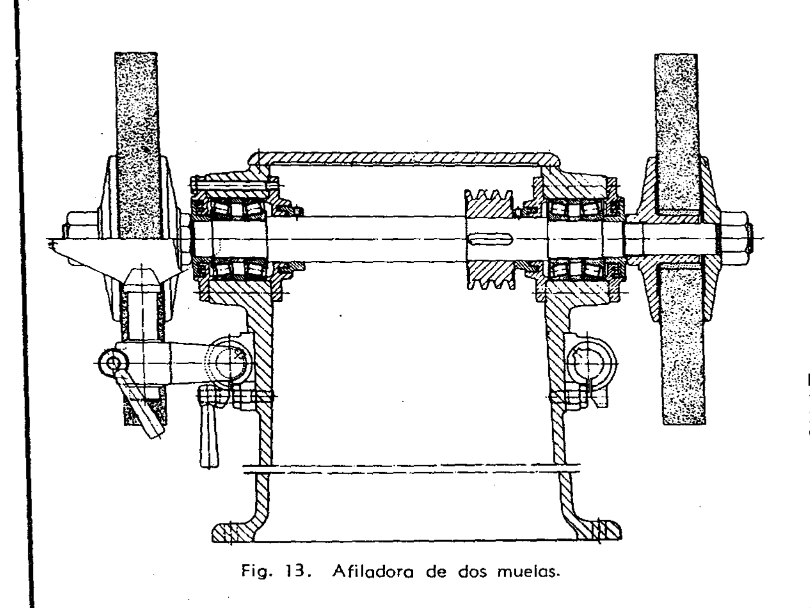


Fig. 13. Afiladora de dos muelas.

Fig. 13. El árbol está montado sobre cojinetes radiales de rodillos cónicos; en cada soporte hay dos cojinetes dispuestos con las conicidades contrapuestas, para compensar los componentes axiales de las cargas. El acoplamiento de los cojinetes se obtiene mediante distanciadores oportunamente calibrados para ajustar el juego y asegurar la necesaria rigidez del árbol. En el soporte de la izquierda el par está fijado en dirección axial; en el soporte de la derecha puede experimentar el árbol pequeños corrimientos correspondientes a sus dilataciones.

Fig. II, 387. *Aplicaciones de arandelas de fieltro para retención de la grasa lubricante:* a) *arandela única;* b) *doble arandela;* c) *arandela y planchita;* d) *con muelle de retención.*

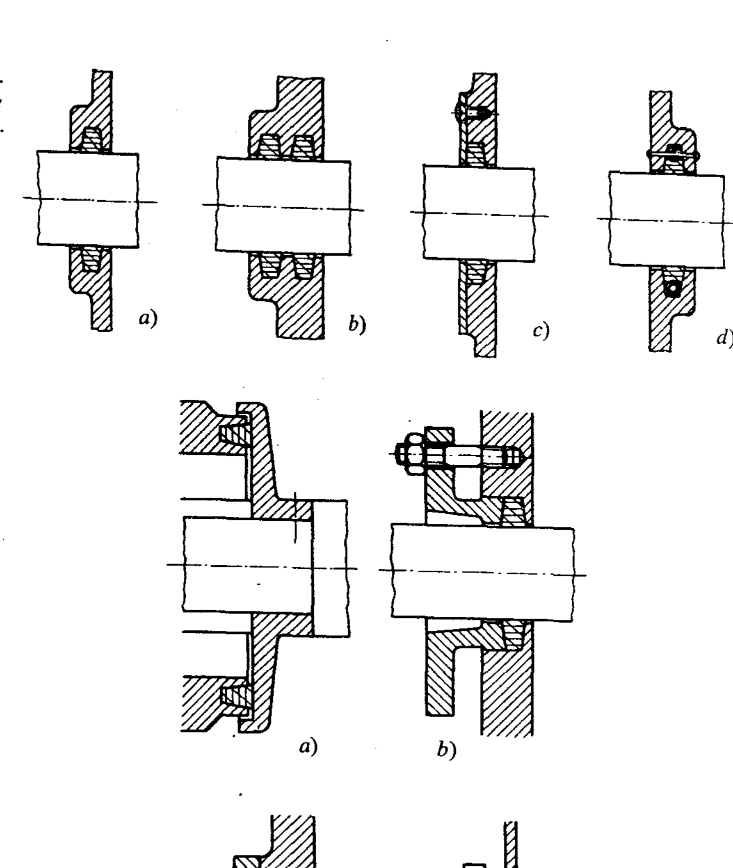
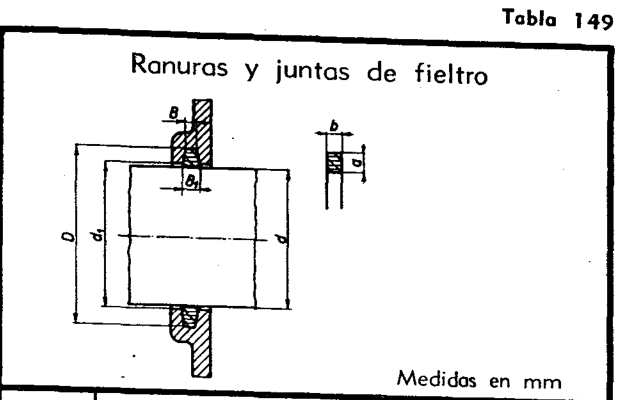


Fig. II, 388. *Otros sistemas de retención de la grasa lubricante:* a) *con aro de eje radial;* b) *con tapa de tornillo;* c) *con muelle;* d) *con tapa de tornillo y brida roscada.*

Tabla 149

Ranuras y juntas de fieltro



Medidas en mm

Diámetro del árbol	Medidas de las ranuras				Medidas de los fieltros	
d	d_1	D	B	B_1	b	a
20	21,5	33,5	4	5,5		
25	26,5	38,5	4	5,5		
30	31,5	43,5	4	5,5		
35	36,5	48,5	4	5,5	5	7
40	41,5	53,5	4	5,5		
45	46,5	58,5	4	5,5		
50	51,5	63,5	4	5,5		
55	56,5	72,5	5	7		
60	61,5	77,5	5	7		
65	66,5	82,5	5	7		
70	72	88	5	7	6,5	10
75	77,5	93,5	5	7		
80	82,5	98,5	5	7		
85	87,5	103,5	5	7		
90	92,5	112,5	6,5	9		
95	97,5	117,5	6,5	9		
100	102,5	122,5	6,5	9		
110	112,5	132,5	6,5	9	8,5	12
115	118	138	6,5	9		
120	123	143	6,5	9		
125	128	158	9	13		
130	133	163	9	13		
140	143	173	9	13	11	16
150	153	183	9	13		
160	163	107	10	14		
170	173	207	10	14	12	18
180	183	217	10	14		

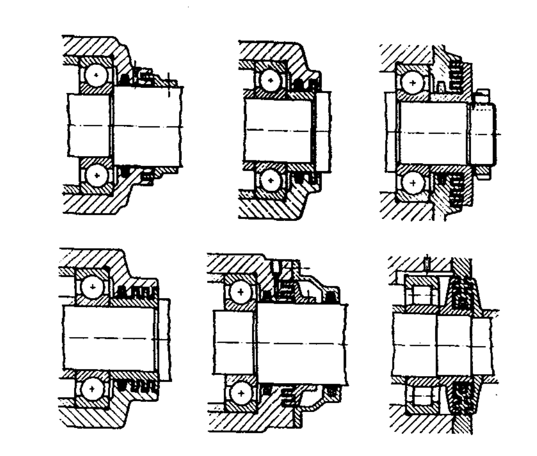


Fig. II, 389. *Diversos dispositivos para la retención de la grasa y para la protección.*

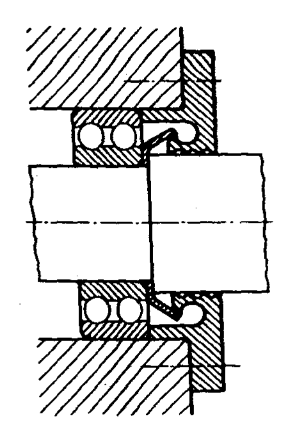
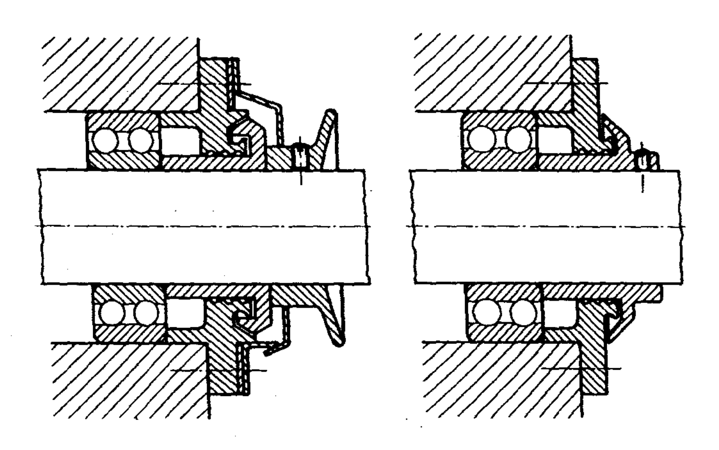


Fig. II, 390. *Protección con arandela centrífuga.*



Figs. II, 391-392. *Protecciones que, por centrifugación, pueden también expulsar el agua que eventualmente pudiera penetrar en el cojinete.*

(fig. II, 389); o los de arandela centrífuga (fig. II, 390); y también los ilustrados en las figuras 391-392, que expulsan por centrifugación el agua que eventualmente pudiera entrar en el cojinete (por ejemplo, la protección Angus).

Mejor protección se obtiene aún empleando arandelas de cuero o de goma sintética de forma apropiada, con muelles helicoidales o dispositivos parecidos que aprietan sus bordes interiores contra el árbol, asegurando el cierre (figs. II, 393-394). Entre otros recordamos las arandelas Corteco, los anillos de junta Stefa (tabla 151), las juntas mecánicas Pacific, etc.

En la figura II, 393 se indica el modo de obtener la protección contra la salida del lubricante del soporte; en la figura II, 394, en cambio, se indica el montaje contra la entrada de materias extrañas. Si se quiere una protección eficaz contra ambos peligros, se emplean dos juntas montadas en sentido opuesto como indica la figura II, 395, colocando entre las juntas un engrasador.

Se obtienen también excelentes resultados, practicando en el árbol y en la caja unas finísimas ranuras que se rellenan de grasa (fig. II, 396); o también, especialmente en los soportes de cojinetes de rótula, aplicando unas fajas elásticas acopladas, apropiadas para este objeto (fig. II, 397).

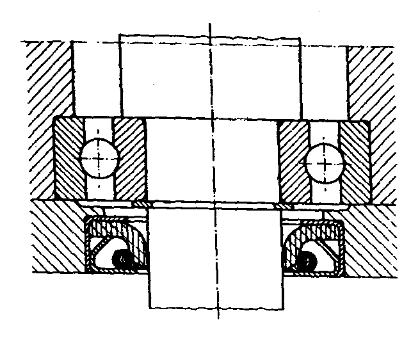


Fig. II, 393. *Protección semejante a la anterior para impedir la salida de lubricante.*

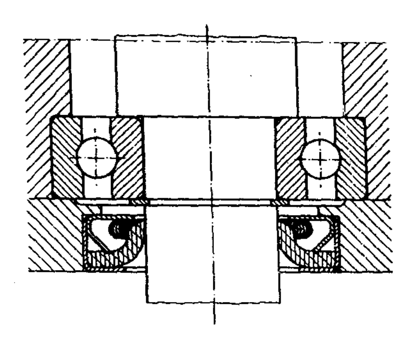


Fig. II, 394. *Protección con collarín de muelle helicoidal, que impide la entrada de materias extrañas.*

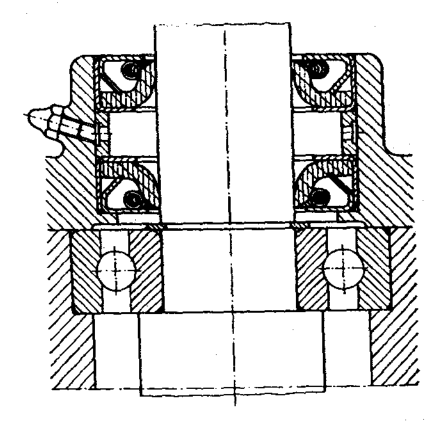


Fig. II, 395. *Aplicación combinada de collarines con muelle helicoidal para protección del exterior y para retención interior.*

Tabla 150

Medidas normales de las juntas «Gaco» de caucho sintético

A	B	c	E	F	L	d	D	T
4	7	2,5	4	7	1,4	3,69	7,25	1,78
5	8,1	2,5	4,9	8	1,4	5,28	8,84	1,78
6	9,1	2,5	5,9	9	1,4	6,07	9,63	1,78
8	11,1	2,5	7,9	11	1,4	7,66	11,22	1,78
9	12,1	2,5	8,9	12	1,4	8,73	12,29	1,78
10	14,7	3,5	10,4	15	2,2	9,92	15,16	2,62
11	15,7	3,5	11,4	16	2,2	10,78	16,02	2,62
12	16,7	3,5	12,4	17	2,2	11,91	17,15	2,62
13	17,7	3,5	13,3	18	2,2	13,10	18,34	2,62
14	18,7	3,5	14,4	19	2,2	13,95	19,19	2,62
15	19,7	3,5	15,3	20	2,2	15,08	20,32	2,62
16	20,7	3,5	16,4	21	2,2	15,88	21,12	2,62
18	22,7	3,5	18,4	23	2,2	17,86	23,10	2,62
20	26,4	4,5	22	28	2,9	20,22	27,28	3,53
22	28,4	4,5	22,7	29	2,9	21,82	28,88	3,53
24	28,7	3,5	24,4	29	2,2	23,81	29,05	2,62
25	31,4	4,5	25,7	32	2,9	24,99	32,05	3,53
28	34,4	4,5	28,7	35	2,9	28,17	35,23	3,53
30	36,4	4,5	30,8	37	2,9	29,75	36,81	3,53
35	41,4	4,5	35,8	42	2,9	34,52	41,58	3,53
38	44,4	4,5	38,7	45	2,9	37,69	44,75	3,53
40	46,4	4,5	39,6	46	2,9	39,69	46,75	3,53
42	48,4	4,5	41,7	48	2,9	41,28	48,34	3,53
45	51,4	4,5	44,6	51	2,9	44,45	51,51	3,53
50	59,8	7	50,3	60	4,5	50,16	60,84	5,34

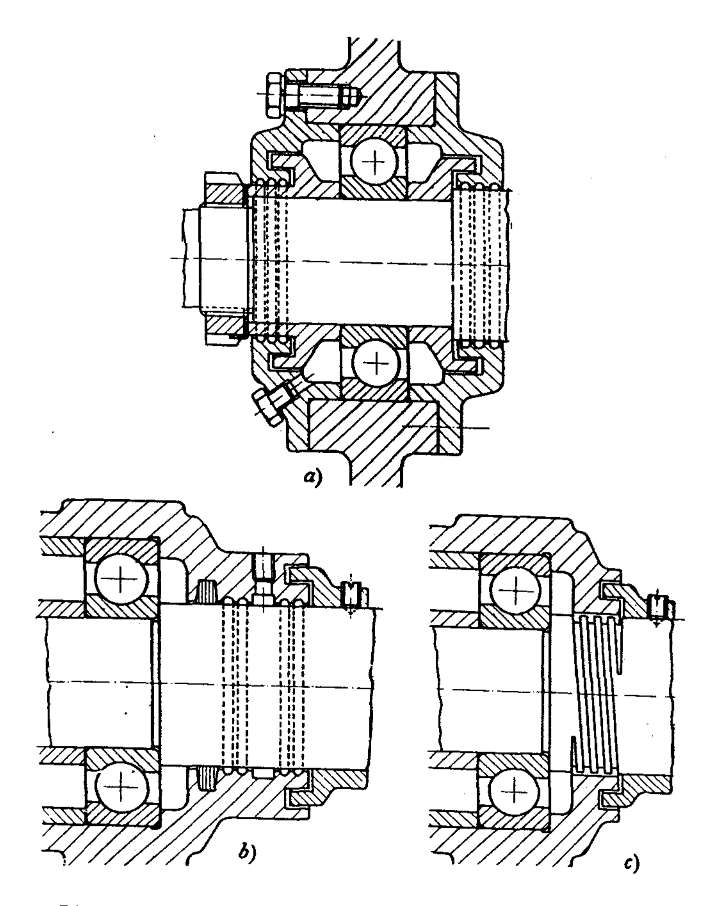


Fig. II, 396. *Protección por medio de finísimas ranuras, rellenas de grasa, practicadas en el árbol o en la caja.*

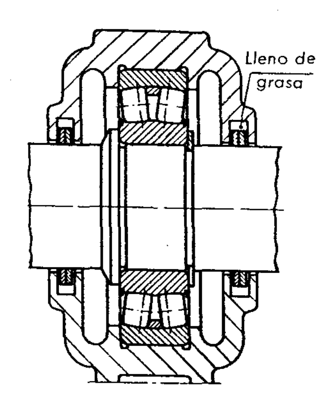
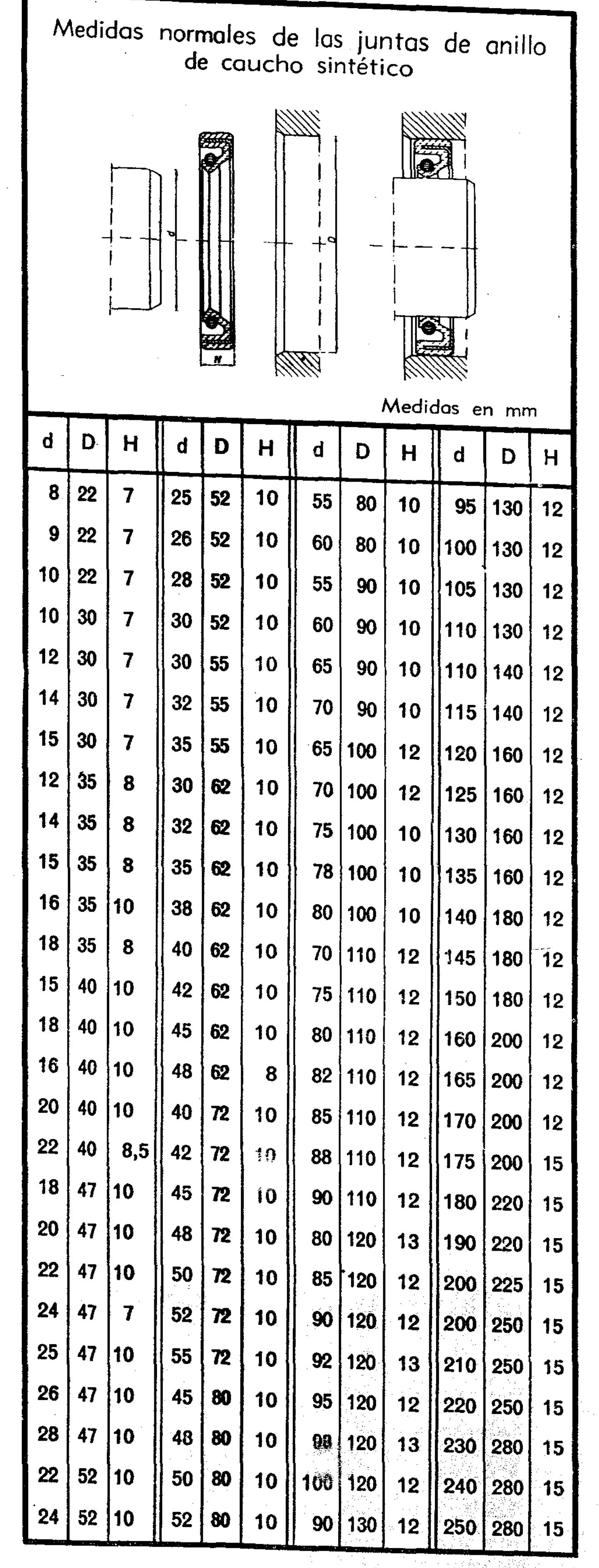


Fig. II. 397. *Una última protección especialmente para cojinetes a rótula, es la que se obtiene con el empleo de adecuadas fajas elásticas acopladas entre sí.*

Para la lubricación con aceite es necesario impedir las fugas del mismo del soporte, empleando para ello los cojinetes estancos de que se ha hablado anteriormente (fig. II, 362) y recurriendo a las protecciones

Tabla 151



Medidas normales de las juntas de anillo de caucho sintético

Medidas en mm

d	D	H	d	D	H	d	D	H	d	D	H
8	22	7	25	52	10	55	80	10	95	130	12
9	22	7	26	52	10	60	80	10	100	130	12
10	22	7	28	52	10	55	90	10	105	130	12
10	30	7	30	52	10	60	90	10	110	130	12
12	30	7	30	55	10	65	90	10	110	140	12
14	30	7	32	55	10	70	90	10	115	140	12
15	30	7	35	55	10	65	100	12	120	160	12
12	35	8	30	62	10	70	100	12	125	160	12
14	35	8	32	62	10	75	100	10	130	160	12
15	35	8	35	62	10	78	100	10	135	160	12
16	35	10	38	62	10	80	100	10	140	180	12
18	35	8	40	62	10	70	110	12	145	180	12
15	40	10	42	62	10	75	110	12	150	180	12
18	40	10	45	62	10	80	110	12	160	200	12
16	40	10	48	62	8	82	110	12	165	200	12
20	40	10	40	72	10	85	110	12	170	200	12
22	40	8,5	42	72	10	88	110	12	175	200	15
18	47	10	45	72	10	90	110	12	180	220	15
20	47	10	48	72	10	80	120	13	190	220	15
22	47	10	50	72	10	85	120	12	200	225	15
24	47	7	52	72	10	90	120	12	200	250	15
25	47	10	55	72	10	92	120	13	210	250	15
26	47	10	45	80	10	95	120	12	220	250	15
28	47	10	48	80	10	98	120	13	230	280	15
22	52	10	50	80	10	100	120	12	240	280	15
24	52	10	52	80	10	90	130	12	250	280	15

más eficaces de entre las explicadas para la lubricación con grasa. Además, se ha de poder comprobar el nivel del aceite, el cual apenas ha de cubrir la parte más baja del recorrido de las piezas de rodamiento para evitar que ocasione rozamientos que podrían ser muy peligrosos.

La lubricación con aceite puede hacerse de modo continuo, con copas de goteo (fig. II, 398 *a*), o con mecha (fig. 398 *b*); en este caso conviene que haya un rebosadero en la parte inferior de la caja y un recipiente que recoja el exceso de aceite; y por último, mediante un vaso de aceite para mantener el nivel constante, en los árboles horizontales (fig. 398 *c*).

Para grandes velocidades y cuando los árboles verticales lleven varios grupos de cojinetes, es conveniente recurrir a la circulación de aceite a presión (fig. II, 399), con regulación de su caudal, para evitar una excesiva afluencia de aceite.

En las figuras II, 400-401, se indican dos sistemas de lubricación más complicados.

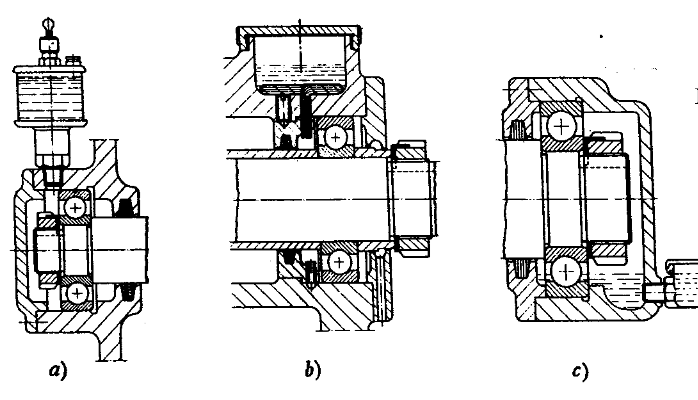


Fig. II, 398. *Lubricación con aceite;* a) *por goteo de copa visible;* b) *por mecha;* c) *por depósito de nivel (para árboles horizontales).*

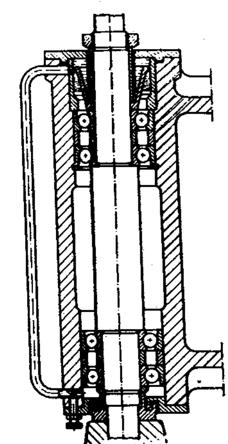
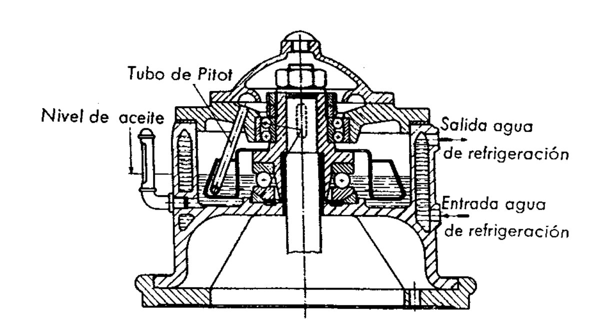


Fig. II, 399. *Lubricación por circulación a presión para árboles verticales con varios cojinetes y para grandes velocidades.*



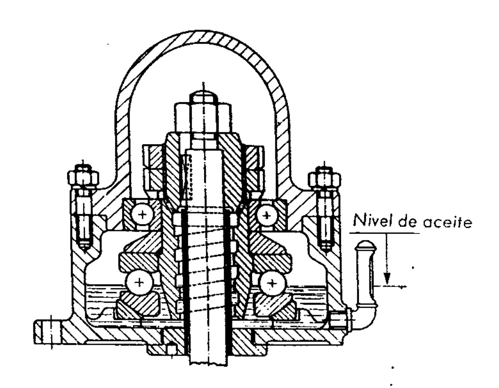


Fig. II, 400-401. *Dos sistemas de lubricación muy complicados.*

Capítulo XI

ÓRGANOS PARA LA TRANSMISIÓN DEL MOVIMIENTO ROTATORIO

77. Ruedas de fricción

Se sabe por la mecánica que la transmisión del movimiento entre dos árboles se puede efectuar por medio de *ruedas de fricción*, de *engranajes* o de *transmisiones por correa*, por *cable* o por *cadena*.

Sobre las transmisiones mediante ruedas de fricción se ha de observar solamente que, cuando se desea un funcionamiento seguro, casi nunca se emplean las ruedas cilíndricas; en cambio pueden emplearse las ruedas de perfil acanalado, porque a igualdad de esfuerzo transmitido necesitan menos presión y por lo tanto, una fuerza axial entre las dos ruedas notablemente inferior a la de las ruedas cilíndricas.

La figura II, 402 representa un par de ruedas de fricción de este tipo. La altura **a** de las cuñas ha de ser pequeña, porque como se sabe por la mecánica, cuanto más altas sean mayor será el deslizamiento entre ellas. Por lo general no sobrepasan los 10 mm.

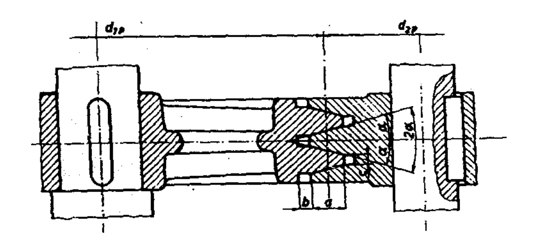


Fig. II, 402. *Rueda de fricción de perfil acanalado.*

Dado el ángulo α de inclinación de cada cara de las cuñas de la rueda, la fuerza tangencial **F** que se puede transmitir entre ambas ruedas, siendo **N** la presión radial entre las mismas, viene dado por la fórmula:

$$F = \frac{f}{\text{sen}\,\alpha + f\cos\alpha} N$$

Si α tiene el valor corriente de 15° y las ruedas son de fundición (f = **0,1**), sustituyendo en la fórmula estos valores, se tiene:

$$F = \frac{0{,}1}{\text{sen}\,15° + 0{,}1\cos 15°} N = 0{,}28\,N$$

El número **S** de canales varía entre 1 y 6; como norma se toma igual a **1/20 F**, redondeado (por exceso).

Llamando **n** al número de vueltas por minuto y **R** al radio medio, expresado en metros, la potencia máxima que se puede transmitir, expresada en caballos de vapor, se obtiene por la fórmula:

$$P = \frac{2\pi FRn}{75 \times 60} = \frac{2\pi \cdot 20 \cdot S \cdot R \cdot n}{75 \times 60} = 0{,}028\,S \cdot R \cdot n$$

Esta fórmula, junto con la de la relación de la transmisión, sirve para calcular las principales dimensiones de las ruedas de fricción.

78. Engranajes

Recordando las principales definiciones de la mecánica aplicada, se tienen tres clases principales de engranajes:

1) **Engranajes cilíndricos** *de dientes rectos o helicoidales para la transmisión del movimiento rotatorio entre ejes paralelos.*

2) **Engranajes cilíndricos** *de dientes helicoidales (y como caso límite el par tornillo sin fin y rueda helicoidal) para la transmisión entre ejes formando ángulo* (casi siempre perpendiculares) *en el espacio.*

3) **Engranajes cónicos** *para la transmisión del movimiento rotatorio entre ejes concurrentes.*

Los elementos fundamentales, desde el punto de vista mecánico, sobre estos engranajes se expondrán en el tratado de mecánica (capítulo V), al que nos remitimos.

Tabla 152

Tabla de módulos y pasos unificados para engranajes

(De la tabla UNI 3521)

Módulo m	Paso p	Módulo m	Paso p	Módulo m	Paso p
0,5	**1,571**	**2**	**6,284**	**6**	**18,850**
0,55	1,727	2,25	7,069	6,5	20,420
0,6	**1,885**	**2,5**	**7,854**	7	21,991
0,7	2,199	2,75	8,639	**8**	**25,133**
0,8	**2,513**	**3**	**9,425**	9	28,274
0,9	2,827	3,25	10,210	**10**	**31,416**
1	**3,142**	3,5	10,996	11	34,557
1,125	3,534	3,75	11,781	**12**	**37,699**
1,25	**3,927**	**4**	**12,556**	14	43,982
1,375	4,320	4,5	14,137	**16**	**50,265**
1,5	**4,712**	**5**	**15,708**	18	56,549
1,75	5,498	5,5	17,279	**20**	**62,832**

Aquí nos limitaremos a exponer los datos y consideraciones de mayor interés para el dibujante.

La serie de módulos para ruedas dentadas está unificada en la tabla **UNI 3521,** de la que se ha extractado la tabla 152. Los módulos en negrilla son los recomendados; los otros no deben emplearse en cuanto sea posible.

Los elementos de una rueda dentada cilíndrica de dientes rectos o helicoidales se definen mediante el perfil de referencia, que no es más que la sección normal a la superficie dentada de una rueda de diámetro infinitamente grande, o sea, una cremallera-tipo. Este perfil ha sido unificado en la tabla **UNI 3522** y damos a continuación sus principales características.

La línea de referencia es una recta (fig. II, 403) paralela al truncamiento de los dientes, que sirve de base para indicar las medidas del diente.

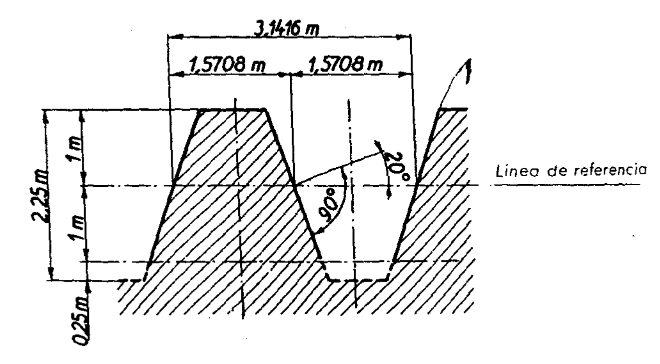


Fig II, 403. *Cremallera-tipo de referencia unificada* (UNI 3522).

Para los engranajes de las construcciones mecánicas en general, con módulo **m** comprendido entre 0,5 y 20, el perfil de la cremallera-tipo unificado corresponde al perfil de evolvente para ángulos de ataque de **20°**; los flancos de los dientes son rectos y tienen un ángulo de ataque de 20° y la altura del diente es igual a 2,25 **m** (**m** = módulo o paso diametral).

La línea de referencia o línea media del perfil está situada a una distancia de la línea de truncamiento igual al módulo. El espesor del diente, medido sobre la línea de referencia, es igual a la distancia entre huecos de diente de la contrarrueda y su medida es la mitad del paso.

En los engranajes corrientes se recomienda el redondeado del pie (fig. II, 404) con radio desde **0,1** hasta **0,4 m** (en algunos casos puede llegar a **0,45 m,** siempre que lo permitan las condiciones de engrane), para dar más solidez a los dientes.

Si se desea dar más convergencia al perfil del diente (fig. II, 405), se efectúa la reducción de la cabeza del diente, recomendándose como valor máximo de la reducción 0,02 módulos.

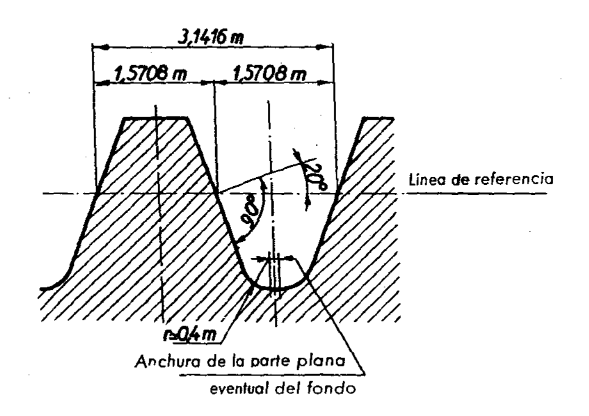


Fig. II, 404. *En los engranajes corrientes se recomienda redondear el fondo, con radio igual a 0,4 m.*

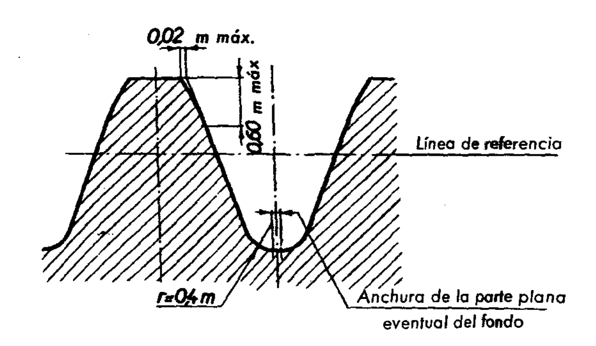


Fig. II, 405. *Si se quiere dar más convergencia al perfil del diente se estrecha el perfil de la cabeza como indica la figura.*

El dibujo para la construcción de un engranaje (fig. II, 406) ha de completarse con todos los datos necesarios para su fabricación. Con frecuencia se indican estos datos en una tabla. Sobre esto no se había unificado nada hasta hace pocos meses: la tabla UNI provisional 4430 ha dado las normas para las ruedas dentadas cilíndricas (véase el n.° 80).

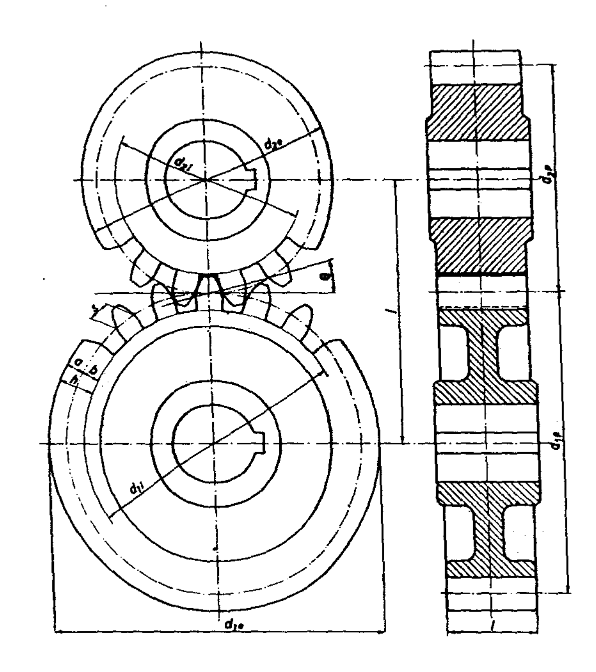


Fig. II, 406. *Representación de un juego de engranajes con sus correspondientes elementos de cálculo.*

Para un dentado normal de dientes rectos exteriores, en engranajes cilíndricos, los elementos que se han de indicar en el dibujo constructivo son los siguientes:

z, *número de dientes* $= \frac{d_p}{m}$;

m, *módulo;*

d_p, *diámetro primitivo,* relacionado con **z** y **m** por la fórmula $d_p = m \cdot z$;

s, *espesor circular,* o sea, el espesor del diente medido sobre la circunferencia primitiva; nominalmente es evidente que **s** es igual a la mitad del paso, es decir, que su medida es

$$s = \frac{\pi m}{2}$$

s_c, *espesor de la cuerda,* como el anterior, pero medido sobre la cuerda del arco correspondiente de la circunferencia primitiva. Se obtiene su valor multiplicando el diámetro de la circunferencia primitiva por el seno del semiángulo central correspondiente a dicha cuerda (fig. II, 407).

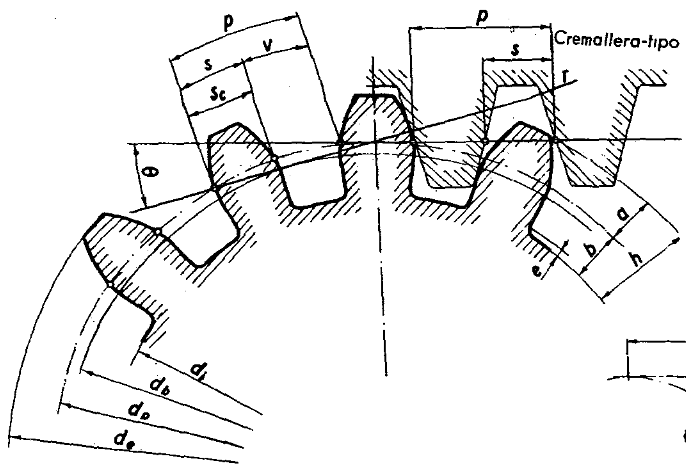


Fig. II, 407. *Detalle de una rueda dentada con cremallera-tipo de referencia y elementos característicos correspondientes.*

$\mathbf{d}_e$, *diámetro exterior (o de cabeza)* $= \mathbf{d}_p + 2\mathbf{a} = \mathbf{d}_p + 2\mathbf{m} = \mathbf{m}\,(\mathbf{z} + 2)$;

$\mathbf{d}_i$ *diámetro interior (o de pie)* $= \mathbf{d}_p - 2\mathbf{b} = \mathbf{zm} - 2\frac{7}{6}\mathbf{m} = \mathbf{m}\,(\mathbf{z} - 2{,}334)$;

θ, ángulo de ataque. *Unificado a* 20°; se usan también 14°30′; 15° y, para dentados interiores se usan además 22°30′ y 30°;

a, *addendum* o altura de la cabeza, es la distancia entre las circunferencias de cabeza y primitiva; en los dentados normales es igual al módulo **m;**

b, *dedendum* o altura del pie, es la distancia entre las circunferencias primitiva y de pie. En los dentados normales es igual a **7/6 m,** o sea, por rendondeo, **1,167 m;**

h, *altura del diente* = **a** + **b.** En los dentados normales rectos es igual, por lo dicho anteriormente, a **13/6 m** = **2,167 m;**

r, *relación de transmisión* $= \frac{\mathbf{n}_2}{\mathbf{n}_1} = \frac{\mathbf{d}_{1p}}{\mathbf{d}_{2p}} = \frac{\mathbf{z}_1}{\mathbf{z}_2}$;

I, *distancia entre ejes,* suma de los radios de las circunferencias primitivas de las ruedas,

$$\frac{\mathbf{d}_{p2} + \mathbf{d}_{p1}}{2} = \mathbf{m}\frac{\mathbf{z}_2 + \mathbf{z}_1}{2};$$

l, *longitud axial* de los dientes.

Para las ruedas helicoidales, los elementos necesarios para la construcción son los mismos que para las ruedas de dientes rectos, con pocas diferencias y algunas adiciones, como se comprende fácilmente observando la figura II, 408. Este asunto se tratará extensamente en los textos de mecánica aplicada (capítulo V).

Además del módulo normal y el paso normal ($\mathbf{p}_n$), se han de considerar el *módulo* y el *paso circunferencial* ($\mathbf{p}_c$); y el *módulo* y el *paso axial* ($\mathbf{p}_a$). Los valores de estos módulos y pasos dependen naturalmente de la inclinación α del diente con respecto al eje de la rueda. Se tiene, en efecto:

$$\mathbf{p}_c = \frac{\mathbf{p}_n}{\cos\alpha}; \qquad \mathbf{m}_c = \frac{\mathbf{m}_n}{\cos\alpha}; \qquad \mathbf{p}_a = \frac{\mathbf{p}_n}{\operatorname{sen}\alpha}; \qquad \mathbf{m}_a = \frac{\mathbf{m}_n}{\operatorname{sen}\alpha};$$

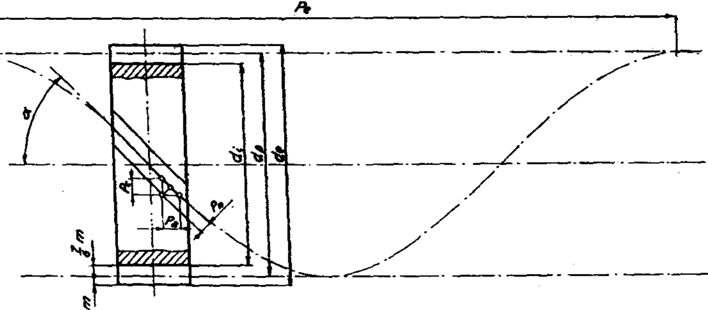


Fig. II, 408. *Esquema de diente inclinado de rueda cilíndrica con dientes helicoidales y elementos correspondientes.*

Puede interesar el paso de la hélice $\mathbf{p}_e$ según el cual se han trazado los dientes: este dato también se puede deducir de la figura II, 408. Se tiene:

$$\mathbf{p}_c = \frac{\pi \mathbf{d}_p}{\operatorname{tg}\alpha}$$

El *addendum* y el *dedendum* conservan los mismos valores que para las ruedas de dientes rectos. *Para el cálculo de los diámetros exterior, interior y primitivo, se ha de tomar, evidentemente, el módulo circunferencial.*

$$\mathbf{d}_p = \mathbf{z}\cdot\mathbf{m}_c = \mathbf{z}\frac{\mathbf{m}_n}{\cos\alpha}$$

La consideración del módulo normal es indispensable, porque es el que ha de servir de base para la selección de las herramientas con que se han de tallar los dientes de las ruedas helicoidales (fresa de módulo, fresa madre, etcétera).

Aquí es oportuno advertir que en América y en las industrias anglosajonas no es corriente el uso del módulo normal de que hemos tratado, sino el sistema llamado **diametral-Pitch** (indicado con **P** o **DP**) que es el *paso diametral, definido como el* **cociente entre el número de dientes y el diámetro primitivo expresado en pulgadas.**

Teniendo presente que

$$\mathbf{m} = \frac{\mathbf{d}_{p(mm)}}{\mathbf{z}} \text{ y que } \mathbf{DP} = \frac{\mathbf{z}}{\mathbf{d}_{p('')}} = \frac{\mathbf{z}\cdot 25{,}4}{\mathbf{d}_{p(mm)}}$$

pasando a las mismas unidades de medida, resulta:

$$\mathbf{DP} = \frac{25{,}4}{z}, \text{ o sea, } z = \frac{25{,}4}{\mathbf{DP}}$$

es decir, que prescindiendo de las distintas unidades de medida, **DP y Z son números inversos.**

En proyectos internacionales se recomiendan los **DP** siguientes:

20; 18; **16**; 14; **12**; **10**; 9; **8**; **7**; **6**; 5½; **5**; 4½; **4**; 3½; **3**; 2½; **2½**; 2½; **2**; 1½; **1½**; **1½**.

Prefiéranse siempre los impresos en negrilla; los otros únicamente cuando esto no sea posible.

Para comodidad del dibujante se ha compilado la tabla 153, que contiene los valores de algunos elementos fundamentales de los engranajes del sistema **DP**, y su correspondencia con los recomendados por el UNI (exceptuados los de módulos inferiores a 1). En dicha tabla se indican los **DP** recomendados y los correspondientes valores del **circunferencial Pitch**, del espesor circunferencial, del paso, del addendum (el dedendum de los dentados normales es igual al módulo) y de la altura del diente. Para facilitar el uso de dicha tabla, se han impreso en negrilla los módulos y diametral Pitch recomendados. Esta tabla *sirve únicamente para el caso de que el dibujante tenga que reducir a milímetros las medidas de un dentado* **DP** o para tener una idea del valor del módulo que corresponde a un **DP** dado, ya que evidentemente no se

Tabla 153

Valores de algunos elementos fundamentales de dentado por el sistema **DP**

Diametral Pitch DP (P) (″)	Circular Pitch P′ (″)	Módulo m mm	Espesor circular s mm	Paso p mm	Dedendum b mm	Altura total del diente h mm
25,3995	0,1237	**1**	1,571	3,142	1,157	2,157
20	0,157	1,27	1,990	3,98	1,47	2,74
16,933	0,1855	**1,5**	2,356	4,712	1,7355	3,2155
16	0,196	1,5875	2,5	5	1,836	3,423
12,7	0,2474	**2**	3,1416	6,2832	2,314	4,314
12	0,262	2,1166	3,33	6,66	2,4489	4,564
10,1598	0,3092	**2,5**	3,927	7,854	2,892	5,392
10	0,314	2,54	4	8	2,9387	5,488
8,4665	0,371	**3**	4,712	9,425	3,471	6,471
8	0,393	3,1749	4,98	9,97	3,673	6,848
7	0,449	3,6285	5,7	11,4	4,2	7,83
6,3499	0,4947	**4**	6,283	12,566	4,628	8,638
6	0,524	4,2333	6,645	13,29	4,9	9,13
5,0799	0,6184	**5**	7,854	15,708	5,785	10,795
5	0,628	5,0799	7,98	15,96	5,8775	10,96
4,2333	0,7421	**6**	9,425	18,850	6,942	12,952
4	0,785	6,3499	9,975	19,95	7,347	13,7
3,1749	0,9895	**8**	12,566	25,132	9,256	17,266
3	1,047	8,4665	13,305	26,61	9,795	18,26
2,54	1,2368	**10**	15,708	31,416	11,570	21,57
2,5	1,257	10,1598	15,96	31,92	11,755	21,915
1166	1,4843	**12**	18,849	37,699	13,884	25,884
2	1,571	12,6998	19,95	39,90	14,694	27,394
1,5875	1,979	**16**	25,133	50,24	18,512	34,512
1,5	2,0944	16,9330	26,595	53,19	19,5905	36,623
1,27	2,4737	**20**	31,416	62,80	23,140	43,140
1,25	2,5133	20,3196	31,92	63,84	23,5097	43,829
1	3,1416	25,3995	39,9	79,80	29,2871	54,7866

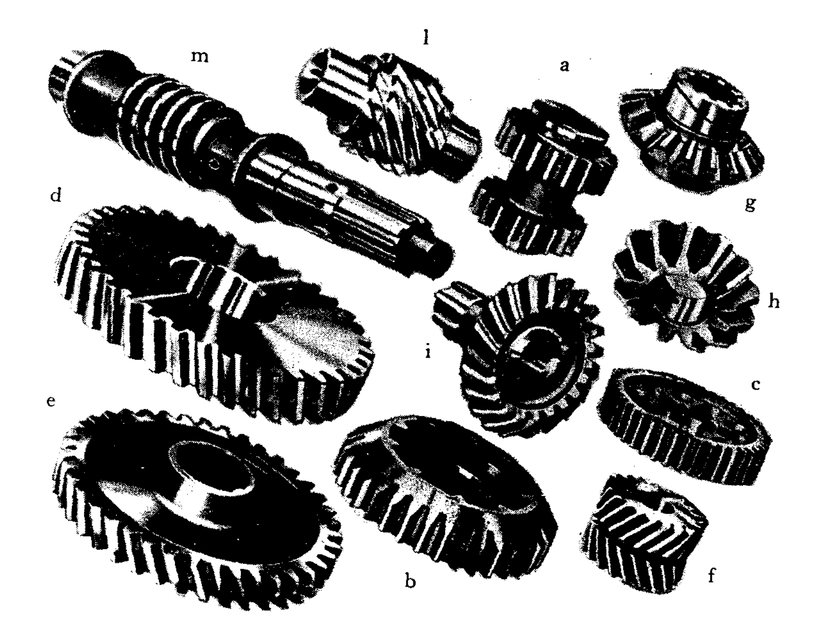


Fig. II, 409. *Fotografía de algunos engranajes (DEMM)* a, b, c) cilíndricos de dientes rectos; d, e) cilíndricos de dientes helicoidales; f) *idem* en espina o flecha *(o de doble inclinación);* g, h) cónicos, de dientes rectos; i) cónico de dientes curvos; l) rueda helicoidal; m) árbol con tornillo sin fin para acoplamiento con rueda helicoidal.

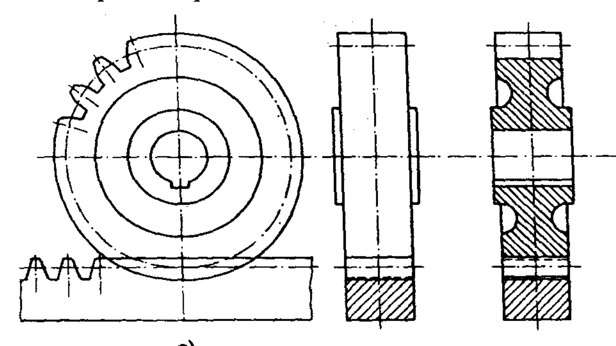
puede pensar en construir un dentado **DP** con el sistema de módulo, pues resultarían para los módulos valores no unificados, para los cuales no se dispondría de las fresas necesarias.

En la figura II, 409, se pueden ver algunos tipos de engranajes en fotograbado.

79. Dibujo de engranajes - Perfil de los dientes

En el dibujo técnico los engranajes se representan convencional o esquemáticamente, como indican las figuras II, 410-415 (UNIM 10 y 11).

Para el trazado del perfil de los dientes se han propuesto varios métodos aproximados, entre los cuales citaremos el de Grant. Por el método de Grant se traza el perfil del diente mediante dos arcos de circunferencia y un segmento radial para las ruedas dentadas cuyo número de dientes está comprendido entre 12 y 36. Para las ruedas de mayor número de dientes, sin llegar a 360, basta un solo arco; en el caso de más de 360 dientes, los flancos del diente se dibujan rectos.



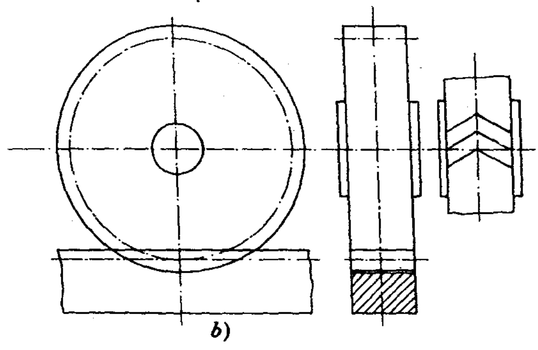


Fig. II, 410. *Par de rueda y cremallera.*

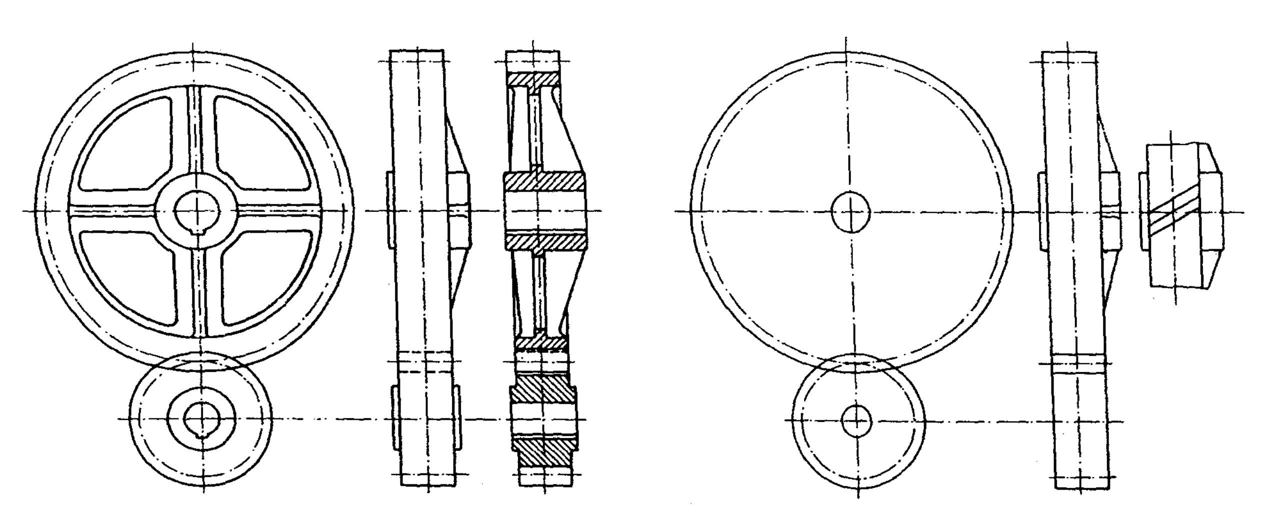


Fig. II, 411. *Juego de engranajes cilíndricos.*

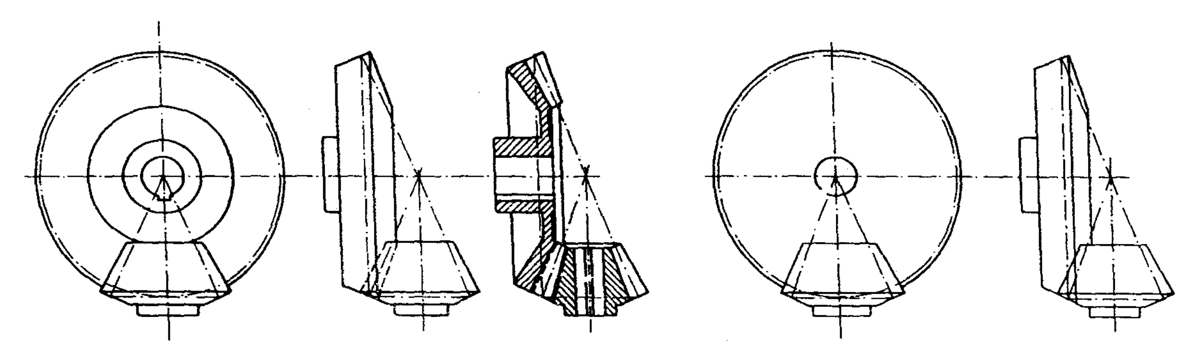


Fig. II, 412. *Juego de ruedas dentadas cónicas.*

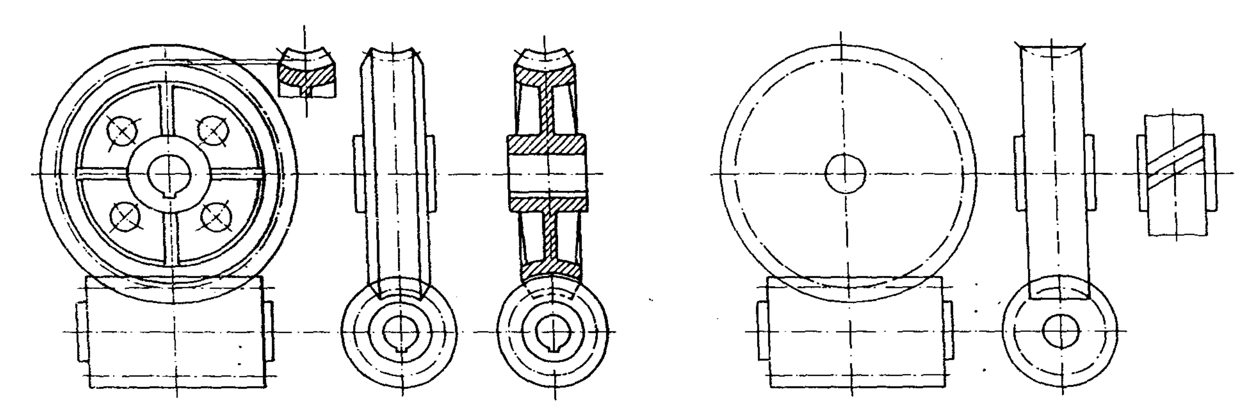


Fig. II, 413. *Par de tornillo sin fin y rueda helicoidal.*

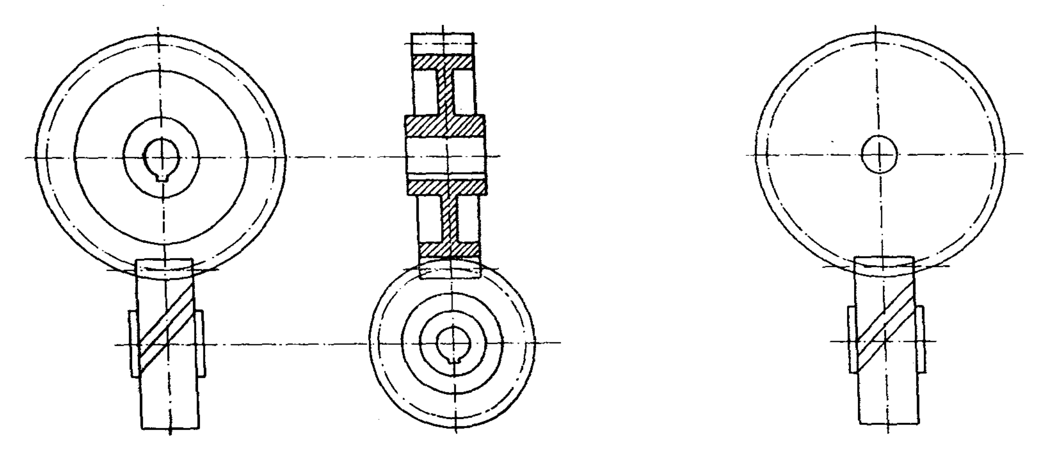


Fig. II, 414. *Juego de engranajes helicoidales.*

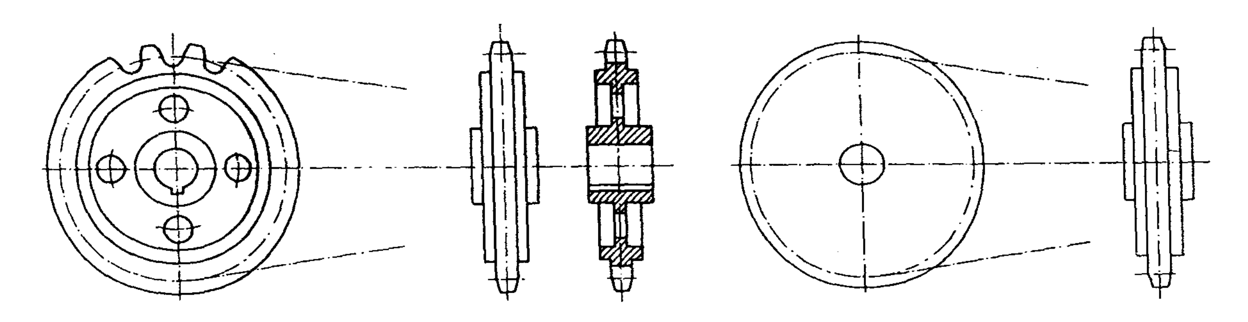


Fig. II, 415. *Rueda para cadena.*

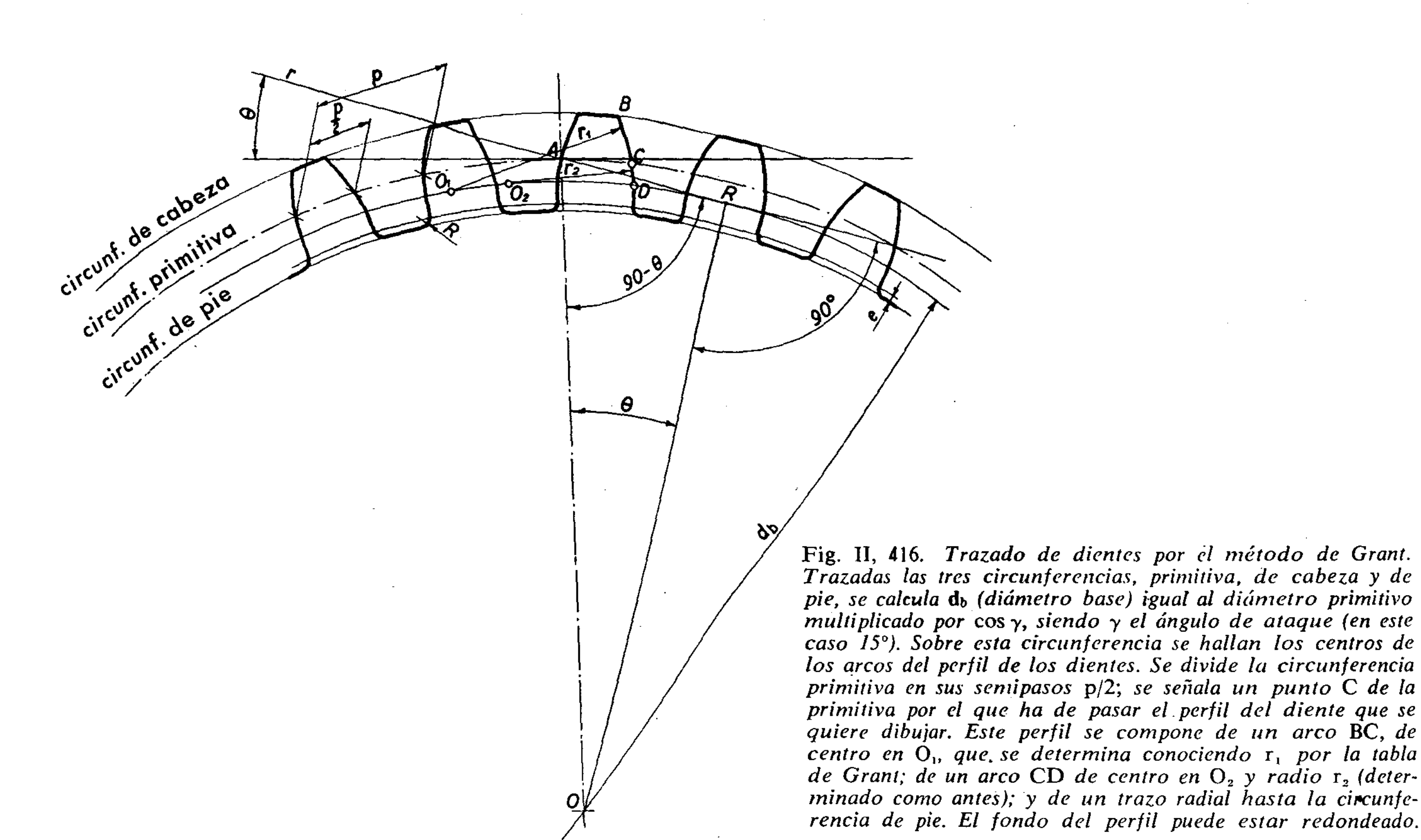


Fig. II, 416. *Trazado de dientes por el método de Grant. Trazadas las tres circunferencias, primitiva, de cabeza y de pie, se calcula* d_b *(diámetro base) igual al diámetro primitivo multiplicado por* cos γ, *siendo* γ *el ángulo de ataque (en este caso 15°). Sobre esta circunferencia se hallan los centros de los arcos del perfil de los dientes. Se divide la circunferencia primitiva en sus semipasos* p/2; *se señala un punto* C *de la primitiva por el que ha de pasar el perfil del diente que se quiere dibujar. Este perfil se compone de un arco* BC, *de centro en* O_1, *que se determina conociendo* r_1 *por la tabla de Grant; de un arco* CD *de centro en* O_2 *y radio* r_2 *(determinado como antes); y de un trazo radial hasta la circunferencia de pie. El fondo del perfil puede estar redondeado.*

La figura II, 416 indica el procedimiento del trazado; en la leyenda de la misma se indica la construcción para trazar la circunferencia lugar geométrico de los centros de los arcos de circunferencia de que se ha hablado. Los radios de estos arcos se calculan multiplicando por el módulo los factores dados por una tabla.

Se transcribe la tabla de Grant valedera para las ruedas dentadas con ángulo de ataque de 15°. Como es sabido, las ruedas con ángulo de ataque de 15° están todavía muy extendidas, por ser muy reciente la unificación a 20° del ángulo de ataque o presión, y no haberse publicado aún la tabla de Grant para el ángulo de 20° (tabla 154).

Ejemplo: Trazar el perfil de unos dientes rectos con $z = 18$; $m = 6$; $\theta = 15°$. El diámetro de la circunferencia primitiva es $D = m \cdot z = 108$ mm; los diámetros de cabeza y de pie son respectivamente $D + 2m = 120$ mm y $D - 2{,}76\ m = 94$ mm.

El paso es $\pi m = 3{,}14 \cdot 6 = 18{,}8$ mm. El diámetro de la

Tabla 154

Tabla de Grant (ángulo de ataque = 15°)

N.° dientes	Coeficiente		N.° dientes	Coeficiente		N.° dientes	Coeficiente		N.° dientes	Coeficiente único
	Cabeza	Base		Cabeza	Base		Cabeza	Base		
10	2,28	0,69	19	3,22	1,79	28	3,92	2,59	37 - 40	4,20
11	2,40	0,83	20	3,32	1,89	29	3,99	2,67	41 - 45	4,63
12	2,51	0,96	21	3,41	1,98	30	4,06	2,76	46 - 51	5,06
13	2,62	1,09	22	3,49	2,06	31	4,13	2,85	52 - 60	5,74
14	2,72	1,22	23	3,57	2,15	32	4,20	2,93	61 - 70	6,52
15	2,82	1,34	24	3,64	2,24	33	4,27	3,01	71 - 90	7,72
19	2,92	1,46	25	3,71	2,33	34	4,33	3,09	91 - 120	9,78
17	3,02	1,57	26	3,78	2,42	35	4,39	3,16	121 - 180	13,38
18	3,12	1,69	27	3,85	2,50	36	4,45	3,23	181 - 360	21,62

circunferencia de centros es $D \cdot \cos \theta = 108 \cdot \cos 15° = 104{,}3$ milímetros.

El radio de la cabeza, según la tabla de Grant, para 18 dientes, se obtiene multiplicando el módulo por 3,12, resultando 18,7 mm redondeado a décimas de milímetro.

Análogamente se calcula el radio del pie multiplicando el módulo por 1,69, o sea, $6 \cdot 1{,}69 = 10{,}1$ mm.

Para dibujar el diente (fig. II, 417) se trazan las circunferencias primitiva, de cabeza y de pie y la recta de ataque y luego se procede como indica la leyenda de la fig. II, 417.

De la misma manera se procedería en el caso de una rueda de más de 36 dientes, en la que se trazaría el flanco con un arco único desde la circunferencia de cabeza a la de centros.

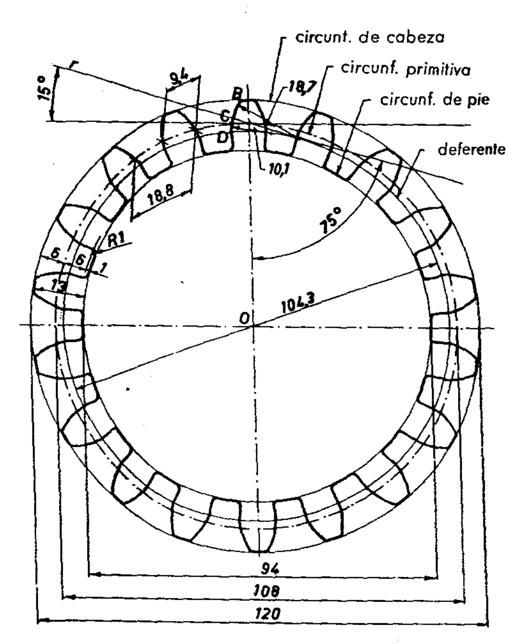
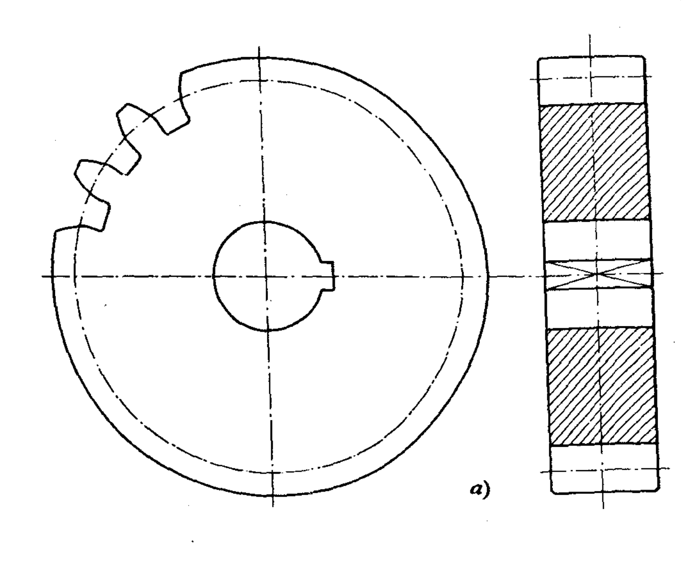


Fig. II, 417. *Trazadas las circunferencias primitiva, de cabeza y de pie y la recta de ataque, se dibuja la de base tangente a esta última. Marcando sobre la primitiva algunos semipasos (el hueco se considera de anchura igual al diente) y haciendo centro sobre la circunferencia de base, se traza un arco* BC *de radio 18,7 (véase el cálculo en el texto) entre la circunferencia de cabeza y la primitiva; un arco* CD *(enlazado con el anterior) de radio 10,1 entre la primitiva y la de base; finalmente se traza una recta radial desde la circunferencia de base a la circunferencia de pie, que se enlaza con la circunferencia de pie con un radio aproximadamente igual a 1/6 del módulo, o sea, de 1 mm.*



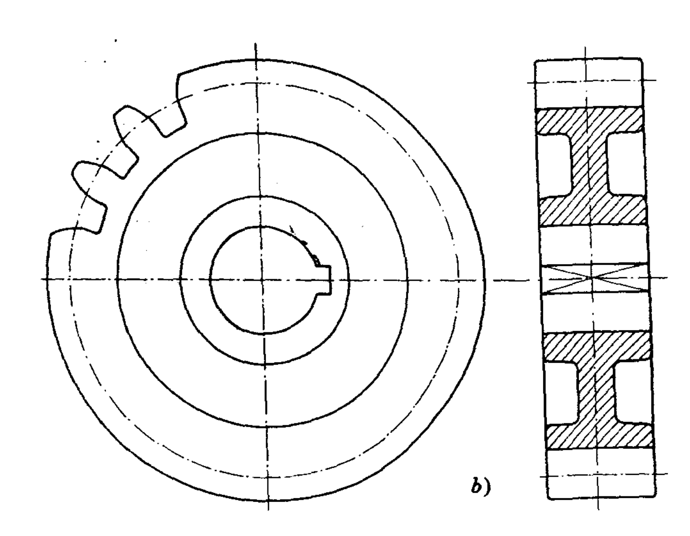


Fig. II, 418. *Engranajes cortados con fresadora:* a) *sin aligerar;* b) *aligerados.*

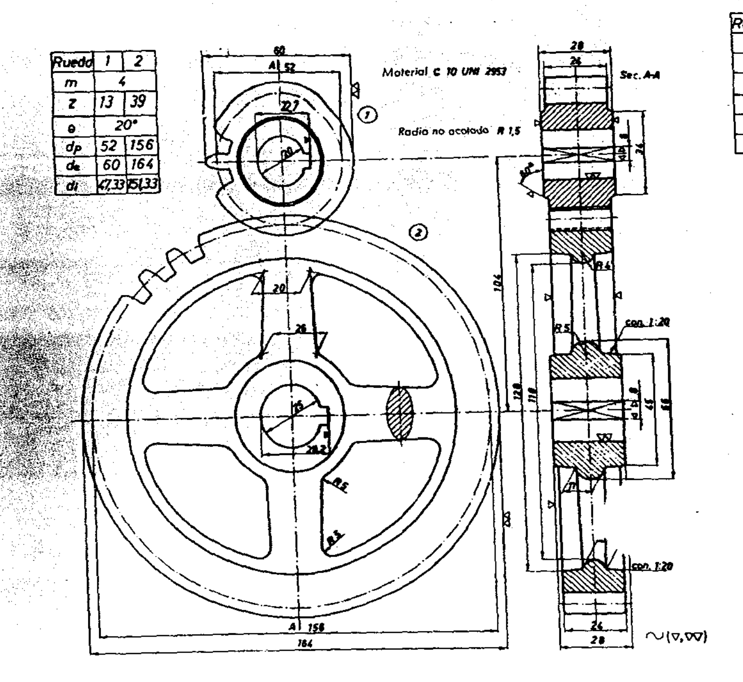
80. Construcción de engranajes

Los engranajes grandes, especialmente si no se exige gran precisión, pueden fabricarse por fusión y hasta pueden formarse los dientes por moldeo; este procedimiento se aplica tanto a engranajes de hierro como de acero.

Los engranajes pequeños que se cortan después con fresadora o máquinas especiales, pueden obtenerse cortándolos directamente de barras cilíndricas o por estampación, macizos (fig. II, 418 *a*) o aligerados (fig. II,418 *b*); los de mayor tamaño, como ya se ha dicho, pueden también obtenerse por fusión con el dentado completo, con brazos o con brazos y nervios, como se indica en las figuras *a, b, c, d* y *e* de la tabla 155, en la que se indican además las proporciones (no unificadas) adoptadas generalmente en la práctica. Los engranajes de grandes proporciones pueden estar constituidos de varias partes soldadas o unidas mediante pernos o tornillos.

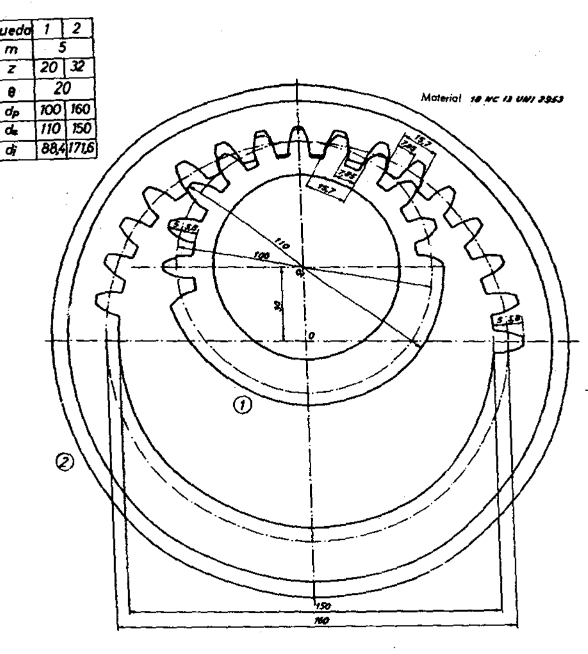
En las figuras II, 419-421 se presentan algunos ejemplos de engranajes.

Hasta ahora no existían normas sobre los datos que se han de consignar en los dibujos, en cuanto se refieren a las dimensiones generales de los engranajes. La tabla provisional que se acaba de publicar **UNI 4430 P** ha llenado esta laguna, aunque sólo para



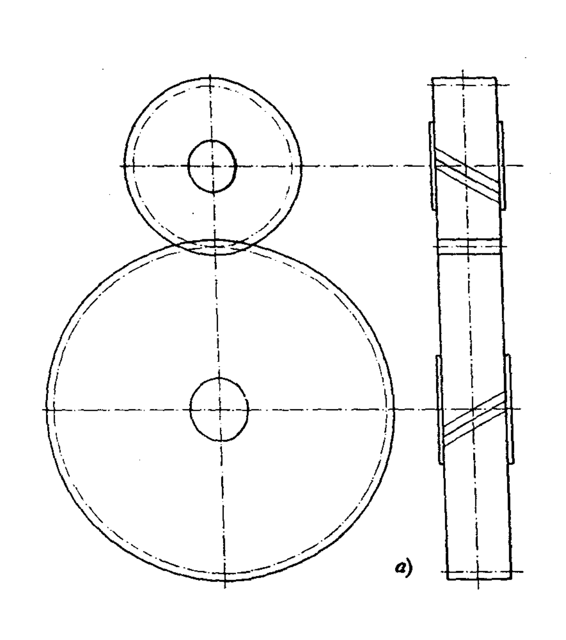
Rueda	1	2
m	4	
z	13	39
θ	20°	
dp	52	156
de	60	164
di	47,33	151,33

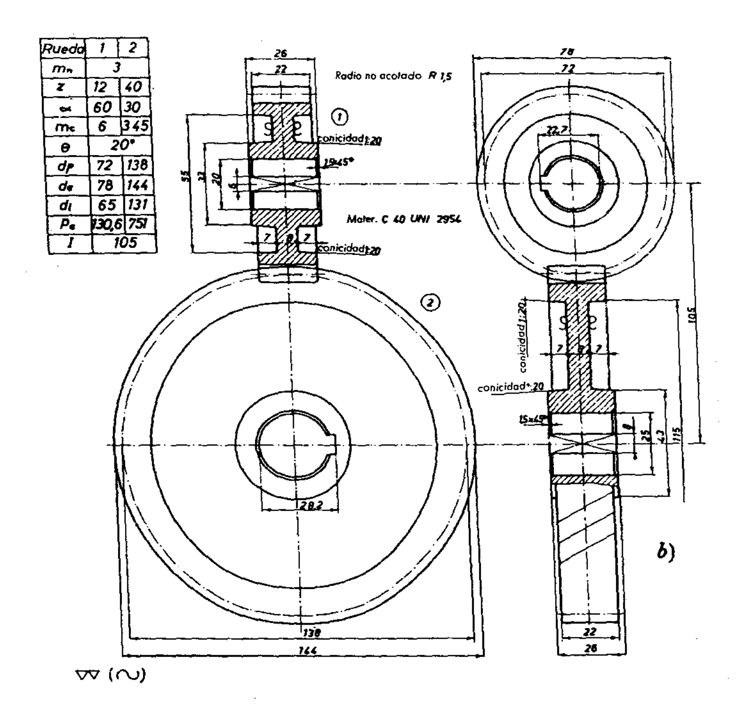
Fig. II, 419. *Juego de engranajes cilíndricos de dientes rectos.*



Rueda	1	2
m	5	
z	20	32
θ	20	
dp	100	160
de	110	150
di	88,4	171,6

Fig. II, 421. *Juego de engranajes cilíndricos interiores, de dientes rectos.*





Rueda	1	2
mn	3	
z	12	40
α	60	30
mc	6	3,45
θ	20°	
dp	72	138
de	78	144
di	65	131
Pe	130,6	751
I	105	

Fig. II, 420. ***Engranajes cilíndricos de dientes helicoidales con indicación del cálculo correspondiente:*** **a)** ***de ejes paralelos, representación esquemática;*** **b)** ***de ejes perpendiculares, representación convencional.***

las ruedas dentadas cilíndricas. Los datos que se han de anotar en los dibujos son los indicados en la tabla 156.

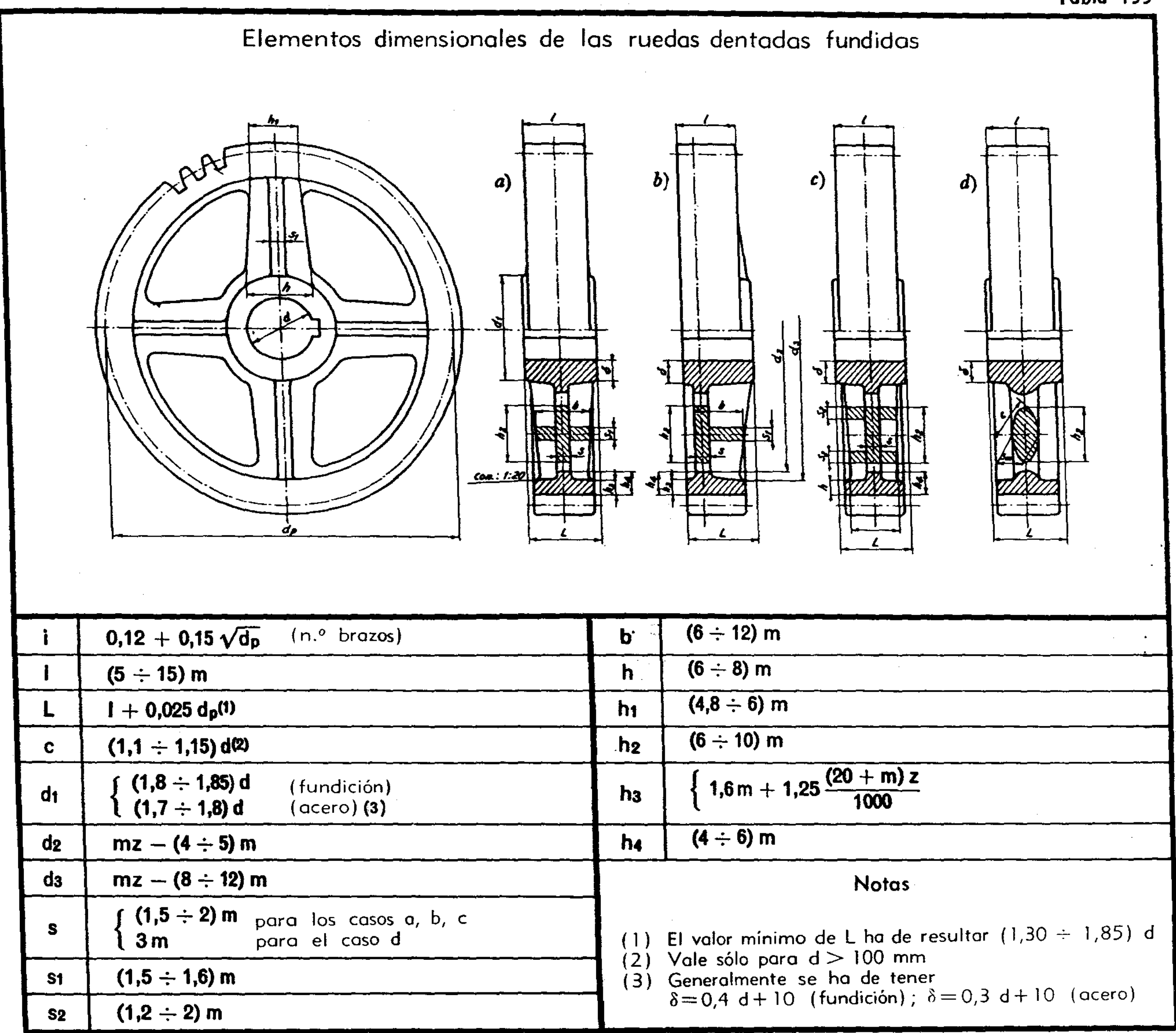
Ya se sabe por la mecánica que, en caso necesario, se pueden emplear dentados rebajados, o sea, con perfiles que tengan addendum y dedendum inferiores a los fijados para los perfiles normales. En estos dentados rebajados se han de adoptar los dientes helicoidales, para asegurar la regularidad del engrane.

Los más usados son:

a) *El dentado Stub rebajado,* en el que los valores del addendum y del dedendum son menores

Tabla 155

Elementos dimensionales de las ruedas dentadas fundidas



i	$0{,}12 + 0{,}15\sqrt{d_p}$ (n.º brazos)	b	(6 ÷ 12) m
l	(5 ÷ 15) m	h	(6 ÷ 8) m
L	l + 0,025 d_p (1)	h_1	(4,8 ÷ 6) m
c	(1,1 ÷ 1,15) d (2)	h_2	(6 ÷ 10) m
d_1	(1,8 ÷ 1,85) d (fundición) (1,7 ÷ 1,8) d (acero) (3)	h_3	$1{,}6m + 1{,}25\,\frac{(20+m)\,z}{1000}$
d_2	mz − (4 ÷ 5) m	h_4	(4 ÷ 6) m
d_3	mz − (8 ÷ 12) m		**Notas**
s	(1,5 ÷ 2) m para los casos a, b, c 3m para el caso d		(1) El valor mínimo de L ha de resultar (1,30 ÷ 1,85) d (2) Vale sólo para d > 100 mm (3) Generalmente se ha de tener δ = 0,4 d + 10 (fundición); δ = 0,3 d + 10 (acero)
s_1	(1,5 ÷ 1,6) m		
s_2	(1,2 ÷ 2) m		

que los del dentado normal. En la tabla 157 se indican las proporciones de este dentado.

b) *El dentado Fellow de dos módulos* o el Stub Fellow, de dos diametral Pitches; en estos dentados las proporciones de la rueda dependen de dos módulos (o diametral Pitches) del modo que indicamos: con el módulo mayor m_2 se calcula el paso y por tanto el espesor del diente; con módulo menor m_1 se calculan el addendum y el dedendum, que naturalmente resultan menores que si se calculasen con el módulo m_2. Los dientes serán más bajos y gruesos, y por lo mismo más fuertes. Estos dentados se emplean principalmente en la industria automovilística.

En las siguientes tablas 158 y 159 se hallarán los pares de módulos y de diametral Pitches utilizables y las proporciones de los dentados correspondientes.

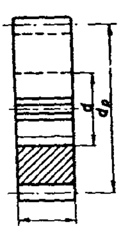
En la figura II, 422 se representa un dentado Fellow de este tipo.

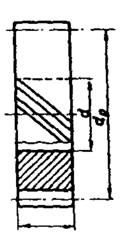
Con frecuencia, especialmente cuando los engranajes forman parte de los cambios de marchas, de que se tratará a continuación, las cabezas de los dientes se modifican por redondeados y achaflanados, claramente visibles en la figura II, 423, para facilitar el comienzo del engrane.

(De la tabla UNI 4430 P)

Medidas generales, elementos e indicaciones para el tallado de dientes rectos y helicoidales

Medidas generales que se han de indicar en el dibujo (*)





(*) Deben además indicarse en el dibujo:

— para las ruedas con cubo, la cara que se empieza a mecanizar;

— para los árboles con piñón, las medidas y tolerancia de la longitud del árbol, que servirán para el montaje en la máquina de cortar.

Las medidas **d** y **dp** se han de completar con la indicación de la tolerancia.

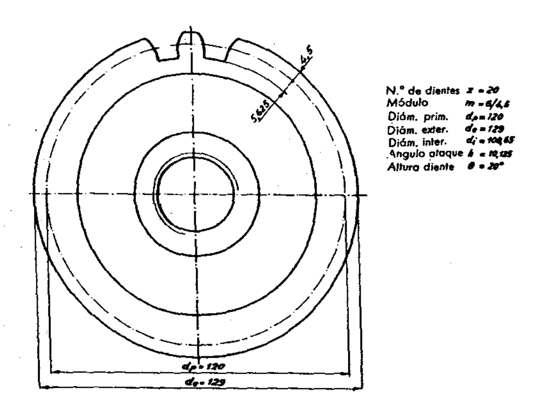
Elementos e indicaciones que se han de anotar en un cuadro anexo al dibujo

Elementos	Indicaciones
Cuerda primitiva [1] y tolerancia correspondiente Altura sobre la cuerda primitiva Altura total del diente	
Número de dientes	
Tipo de dentado	
Cremallera-tipo de referencia del perfil aparente	
Cremallera-tipo de referencia del perfil normal	
Clase de dentado	
Módulo de la crémallera-tipo de referencia	
Ángulo de ataque aparente	
Ángulo de ataque normal	
Diámetro primitivo	
Ángulo de la hélice [2]	
Sentido de la hélice (derecha o izquierda) [2]	
Paso de la hélice [2]	
Paso axial	
Corrección del perfil	
Número del dibujo de la rueda acoplada	
Número de dientes de la rueda acoplada	
Distancia entre ejes y tolerancia correspondiente	
Estado de la superficie de los flancos del dentado	

[1] Denominado anteriormente espesor en la cuerda del diente.
[2] Datos a consignqr sólo para ruedas cilíndricas de dientes helicoidales.

Aquí es oportuno tratar del rectificado de engranajes, desde el punto de vista del dibujante. Es sabido que en todos los mecanismos de precisión (cambios de marcha por engranajes, máquinas herramientas de calidad, etc.), se emplean engranajes construidos de acero (véase el n.° 81), tratados térmicamente y finalmente rectificados. El rectificado tiene por objeto, entre otros, mejorar la transmisión, hacerla más silenciosa y regular: las ruedas dentadas tratadas convenientemente tienen los dientes mucho más resistentes al desgaste, y por este motivo todas las ruedas que han de estar en funcionamiento mucho tiempo han de ser tratadas y rectificadas.

El dibujante ha de poner mucho cuidado en la colocación de los signos de acabado en los dibujos de ruedas dentadas. Si el signo de rectificado (tres triángulos) se coloca en la periferia exterior de las ruedas dentadas exteriores o en la periferia interior de las



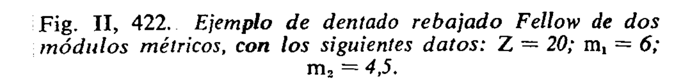


Fig. II, 422. *Ejemplo de dentado rebajado Fellow de dos módulos métricos, con los siguientes datos: Z = 20;* $m_1 = 6$; $m_2 = 4,5$.

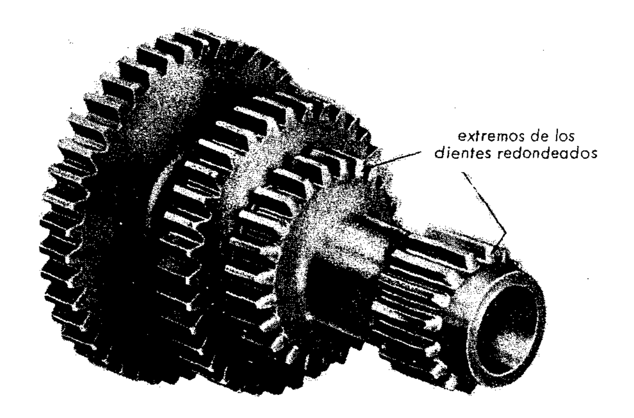


Fig. II, 423. *Fotografía de las ruedas de un cambio por engranajes con los extremos de los dientes redondeados, para facilitar la entrada.*

Tabla 157

Proporciones del dentado Stub (rebajado)

P 1/pulgadas	m mm	Addendum $a = \frac{0,8}{P}$		Dedendum $b = \frac{1}{P}$		Altura del diente $h = \frac{1,8}{P}$		Juego del fondo $e = \frac{0,2}{P}$		Espesor circular $s = 0,5\ P'$	
		pulgadas	mm	pulgadas	mm	pulgadas	mm	pulgadas	mm	pulgadas	mm
1	25,4	0,8000	20,32	1,0000	25,4	1,8000	45,72	0,16	4,064	1,5708	39,90
1,25	20,32	0,6400	16,26	0,8000	20,32	1,4400	36,58	0,1280	3,251	1,2566	31,92
1,50	16,933	0,5333	13,55	0,6666	16,93	1,1999	30,48	0,10666	2,710	1,0472	26,60
1,75	14,514	0,4571	11,61	0,5714	14,51	1,0285	26,12	0,0914	2,321	0,8976	22,80
2	12,7	0,4000	10,16	0,5000	12,70	0,9000	22,86	0,0800	2,032	0,7854	19,95
2,25	11,289	0,3552	9,022	0,4444	11,29	0,7996	20,31	0,0710	1,803	0,6891	17,50
2,50	10,160	0,3200	8,128	0,4000	10,16	0,7200	18,29	0,0640	1,626	0,6283	15,96
2,75	9,236	0,2908	7,386	0,3636	9,24	0,6544	16,62	0,0582	1,478	0,5712	14,51
3	8,467	0,2666	6,772	0,3333	8,47	0,5999	15,24	0,0533	1,354	0,5236	13,30
3,50	7,257	0,2286	5,806	0,2857	7,26	0,5143	13,06	0,0457	1,161	0,4488	11,40
4	6,350	0,2000	5,080	0,2500	6,35	0,4500	11,43	0,0400	1,016	0,3927	9,975
5	5,080	0,1600	4,064	0,2000	5,08	0,3600	9,144	0,0320	0,813	0,3412	8,666
6	4,233	0,1333	3,386	0,1666	4,23	0,2999	7,617	0,0266	0,676	0,2618	6,650
7	3,629	0,1143	2,903	0,1429	3,63	0,2572	6,533	0,0229	0,582	0,2244	5,700
8	3,175	0,1000	2,540	0,1250	3,175	0,2250	5,715	0,0200	0,508	0,1963	4,986
10	2,540	0,0800	2,032	0,1000	2,54	0,1800	4,572	0,0160	0,406	0,1571	3,990
12	2,117	0,0666	1,692	0,0833	2,117	0,1499	3,807	0,0133	0,338	0,1309	3,325
14	1,814	0,0571	1,450	0,0714	1,814	0,1285	3,264	0,0114	0,290	0,1122	2,850
16	1,587	0,0500	1,270	0,0625	1,857	0,1125	2,857	0,0100	0,250	0,0981	2,492

ruedas dentadas interiores, significará solamente que la superficie exterior de la rueda está rectificada, lo cual puede ser simplemente una sencilla necesidad de mecanizado.

Si se quiere indicar el rectificado de los dientes, el signo de rectificado se ha de colocar sobre la circunferencia primitiva. Esta regla se aplica también a los otros tipos de ruedas dentadas.

Tabla 158

Dentado rebajado Fellow de dos módulos métricos					
Módulo m_1/m_2 mm	Addendum $a = m_2$ mm	Dedendum b mm	Altura h mm	Espesor circular $s = \frac{\pi m_1}{2}$ mm	$\frac{m_2}{m_1}$
1,75/1,5	1,5	1,875	3,375	2,748	0,856
2/1,5	1,5	1,875	3,375	3,1416	0,750
2/1,75	1,75	2,185	3,935	3,1416	0,875
2,25/1,75	1,75	2,185	3,935	3,534	0,778
2,5/2	2	2,5	4,5	3,927	0,800
2,75/2	2	2,5	4,5	4,319	0,7275
3/2,25	2,25	2,810	5,060	4,712	0,750
3,25/2,5	2,5	3,125	5,625	5,105	0,770
3,5/2,5	2,5	3,125	5,625	5,497	0,715
3,75/2,75	2,75	3,437	6,187	5,89	0,734
4/3	3	3,750	6,750	6,283	0,750
4,25/3,25	3,25	4,062	7,312	6,675	0,765
4,5/3,25	3,25	4,062	7,312	7,068	0,7225
4,75/3,5	3,5	4,375	7,875	7,461	0,7375
5/3,75	3,75	4,685	8,435	7,854	0,750
5,25/4	4	4,9	8,9	8,246	0,762
5,5/4	4	4,9	8,9	8,639	0,727
5,75/4,5	4,5	5,625	10,125	9,032	0,782
6/4,5	4,5	5,625	10,125	9,424	0,750
6,25/4,75	4,75	5,937	10,687	9,817	0,758
6,5/5	5	6,25	11,25	10,210	0,768

81. Breve noticia de los materiales usados en la fabricación de ruedas dentadas

Anteriormente se indicó la posibilidad de construir engranajes partiendo de piezas fundidas o estampadas, de formas diversas según los tamaños, potencias que han de transmitir, etcétera.

En efecto, los materiales empleados en la construcción de engranajes y la forma de construirlos dependen además de otras circunstancias, como la naturaleza de las fuerzas que han de transmitir (por ejemplo, si son continuas o variables, y en este caso si la variación es suave o brusca, etc.), la velocidad de funcionamiento, etcétera.

Sin pretender desarrollar a fondo este asunto, se expondrán algunas consideraciones y caracteres generales, más importantes, sacados de la práctica y de la costumbre.

Los materiales empleados generalmente para la construcción de ruedas dentadas son los siguientes:

Acero. *Al carbono, bonificados, al níquel:* Tienen dureza superficial moderada, por lo que su resistencia al desgaste es pequeña. Sin embargo son de frecuente empleo porque su construcción es fácil y relativamente económica. *Cementado:* Los engranajes fabricados con acero son los que reúnen las mejores características deseables. La cementación, que se efectúa después del mecanizado, permite obtener engranajes con la capa exterior durísima y resistente al desgaste y con el cuerpo de gran tenacidad y por lo tanto capaz de resistir las fuerzas y choques a que estará sometido. Se usan con frecuencia aceros al níquel, al níquel-cromo, al níquel-molibdeno. El mecanizado de estos engranajes es naturalmente mucho más caro que el de los anteriores.

Fundición. Los engranajes de fundición son de empleo muy difundido a causa de su fabricación económica. Los dientes son frágiles. Su aplicación más corriente es para los juegos de engranajes de las máquinas herramientas, en las que, por lo general, los dientes están sometidos a esfuerzos moderados, sin choques. En algunos casos se endurece su superficie por flameado u otro sistema.

Bronce. Se emplea raras veces, por ejemplo, en las coronas helicoidales, acopladas a tornillos sin fin, en los reductores, en algunos dispositivos del mecanismo de dirección de los automóviles, etcétera.

Aleaciones ligeras. Se emplean únicamente en engranajes sometidos a pequeños esfuerzos.

Materiales de tipo baquelita *u otras resinas sintéticas.* Se emplean en varios casos de transmisiones de poca velocidad y pequeña potencia, cuando se exige funcionamiento silencioso.

Madera. Se usan como los anteriores, pero en general son más frágiles.

Desde el punto de vista del mecanizado, los engranajes pequeños, como ya se ha dicho, se obtienen por forja o estampado, procediéndose luego al tallado de los dientes con fresas de módulo, con fresas-madre o cortadores. En los engranajes de más precisión (por ejemplo, en los recambios de los engranajes de máquinas herramientas de alta calidad o de automóviles), los dientes que se han cementado, necesitan un rectificado después del tratamiento térmico.

82. Engranajes cónicos

Cuando los ejes de transmisión se cortan o se cruzan en el espacio con una distancia entre ellos de 30 ó 40 mm como máximo, se usan los engranajes cónicos, como se explica en la mecánica aplicada (fig. II, 424).

Tabla 159

Dentado rebajado Stub (Fellow) de dos Diametral Pitch						
Módulo diente P_1/P_2	Módulos correspondientes	Paso mm	Addendum $a = m_2$ mm	Dedendum b mm	Altura h mm	Espesor circ. del diente $s = \frac{\pi m_1}{2}$ mm
24/32	1,0583/0,7937	3,322	0,7937	1,117	1,9107	1,6623
22/29	1,1545/0,875	3,625	0,875	1,254	2,129	1,8134
20/26	1,27/0,9769	3,99	0,977	1,354	2,331	1,9739
19/25	1,3368/1,016	4,187	1,016	1,374	2,390	2,0980
18/24	1,4111/1,0583	4,432	1,058	1,440	2,498	2,2148
17/22	1,494/1,154	4,693	1,154	1,496	2,650	2,3469
16/21	1,5875/1,2095	4,9872	1,2095	1,59	2,7995	2,4917
15/20	1,693/1,27	5,318	1,27	1,691	2,961	2,6593
14/18	1,8143/1,4111	5,6988	1,4111	1,79	3,2011	2,8473
13/16	1,9538/1,5875	6,1380	1,5875	1,9837	3,5712	3,0683
12/14	2,1166/1,8143	6,6598	1,8143	2,268	4,082	3,324
11/14	2,3090/1,8143	7,2539	1,8143	2,268	4,082	3,6271
10/12	2,54/2,1166	7,9896	2,1166	2,646	4,7626	3,9878
9/11	2,822/2,3090	8,865	2,309	2,885	5,194	4,4297
8/10	3,1749/2,54	9,97458	2,54	3,175	5,715	4,9834
7/9	3,6285/2,822	11,399	2,822	3,528	6,350	5,6975
6/8	4,2333/3,1749	13,3	3,175	3,97	7,145	6,6497
5/7	5,0799/3,6285	15,959	3,6285	4,536	8,1645	7,9806
4/5	6,3499/5,0799	19,95	5,08	6,35	11,43	9,9695
3/4	8,4665/6,3499	26,6	6,35	7,937	14,287	13,2991

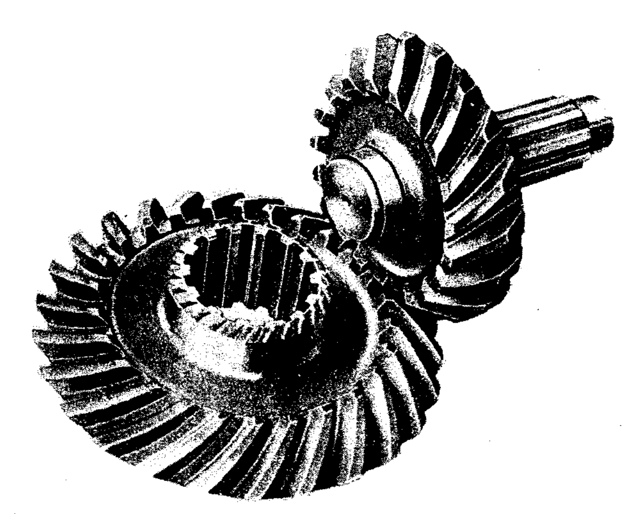


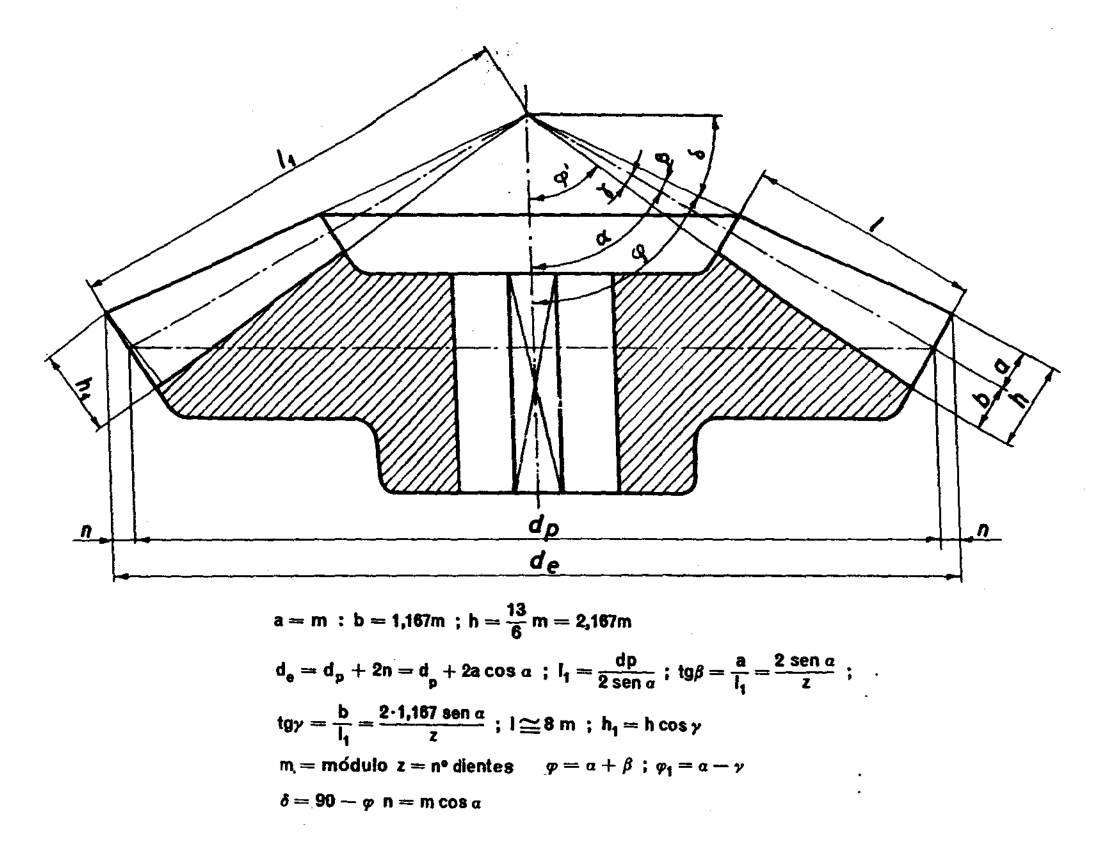
Fig. II, 424. *Fotografía de engranajes cónicos, de dientes curvos.*

Si los ejes de dos árboles se cortan, se emplean los engranajes cónicos normales, que pueden ser de dientes rectos o de dientes curvos. En la tabla 160 se han indicado los elementos de cálculo para un juego de engranajes cónicos de dientes rectos, y en la tabla 161 para los de dientes helicoidales.

El tallado de estos dientes se efectúa siempre con cortadores especiales. Desde hace algunos años pueden tratarse estos engranajes térmicamente, y finalmente rectificarse.

La figura II, 425 representa una rueda dentada cónica con la indicación de todos sus elementos; la figura II, 426 representa un juego de ruedas dentadas cónicas acotadas.

Al variar el ángulo de los dos ejes del juego de ruedas cónicas, dichas ruedas se presentan en la forma indicada esquemáticamente en las figuras II, 427, *a*, *b*, *c*, *d*, *e*.



$$a = m \; : \; b = 1{,}167m \; ; \; h = \frac{13}{6} m = 2{,}167m$$

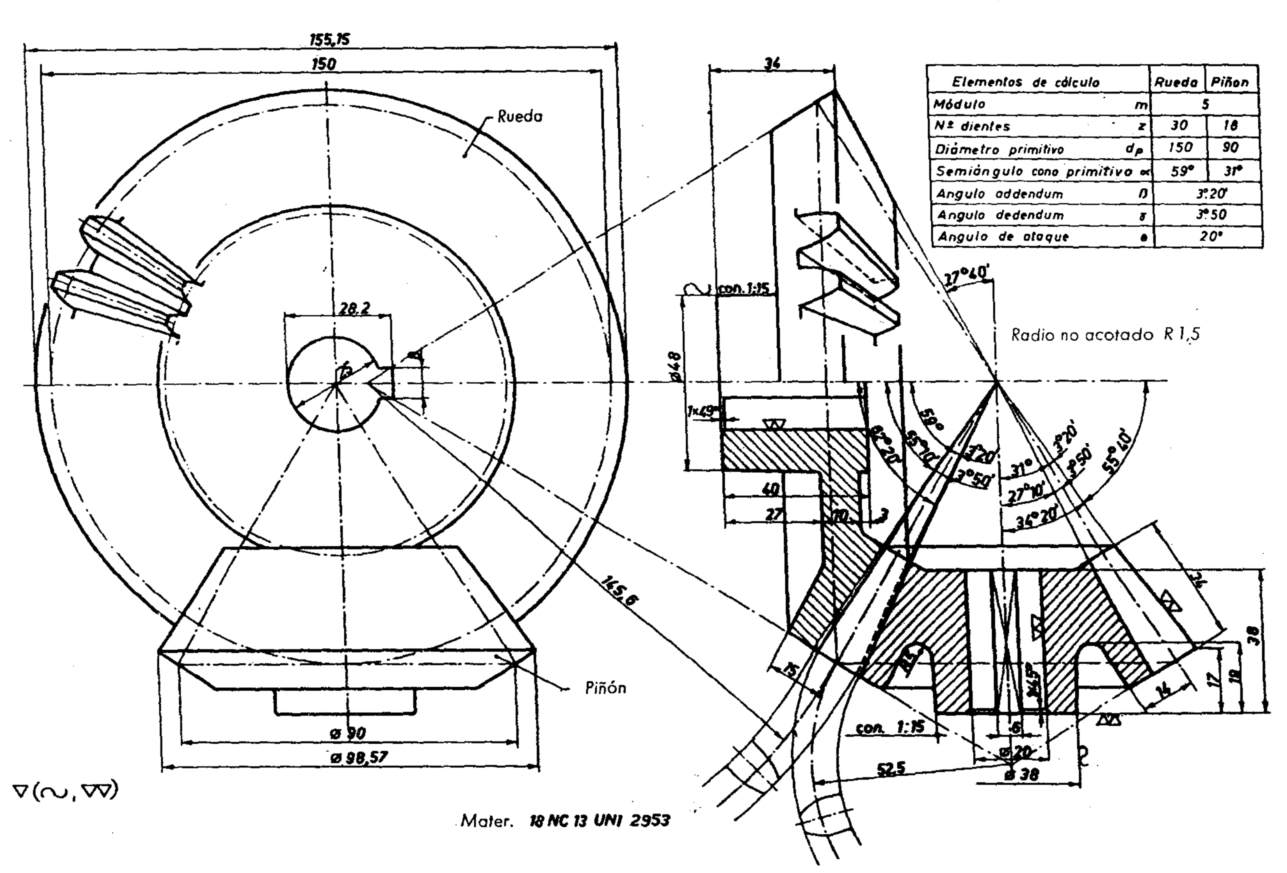
$$d_e = d_p + 2n = d_p + 2a \cos \alpha \; ; \; l_1 = \frac{dp}{2 \operatorname{sen} \alpha} \; ; \; tg\beta = \frac{a}{l_1} = \frac{2 \operatorname{sen} \alpha}{z} \; ;$$

$$tg\gamma = \frac{b}{l_1} = \frac{2 \cdot 1{,}167 \operatorname{sen} \alpha}{z} \; ; \; l \cong 8\,m \; ; \; h_1 = h \cos \gamma$$

m = módulo z = nº dientes $\varphi = \alpha + \beta \; ; \; \varphi_1 = \alpha - \gamma$

$\delta = 90 - \varphi \quad n = m \cos \alpha$

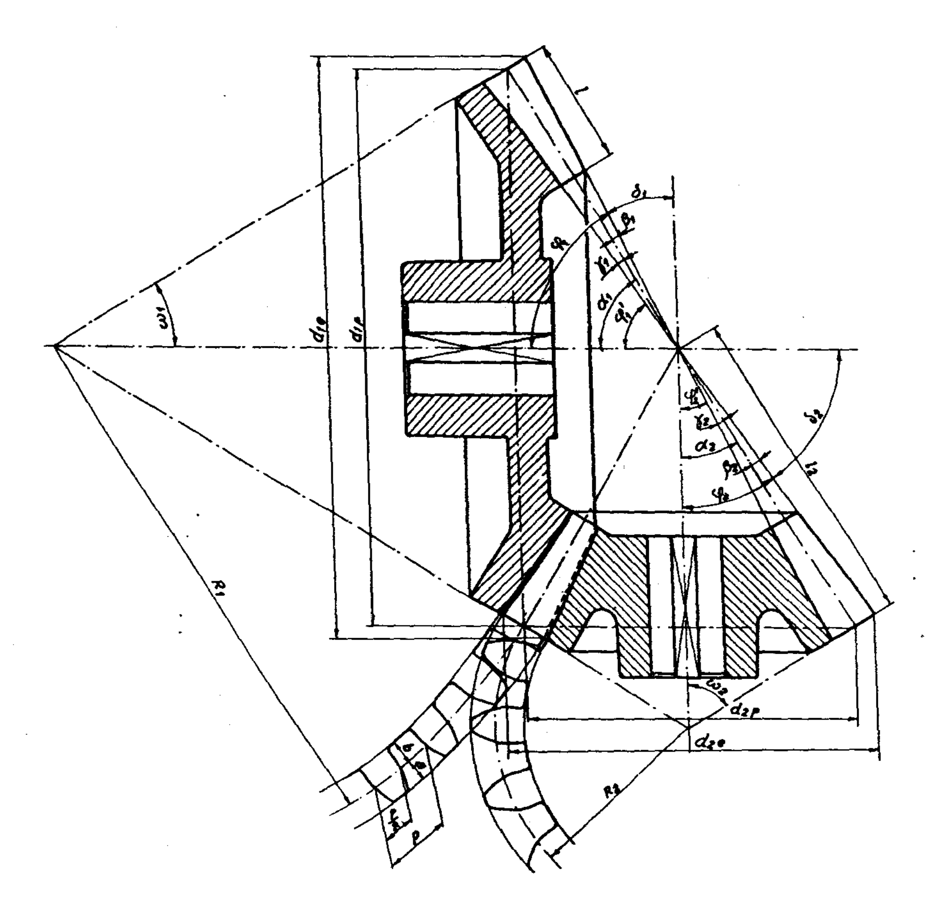
Fig. II, 425. *Rueda dentada cónica con los elementos correspondientes.*



Elementos de cálculo		Rueda	Piñon
Módulo	m	5	
Nº dientes	z	30	18
Diámetro primitivo	d_p	150	90
Semiángulo cono primitivo	α	59°	31°
Angulo addendum	β	3°20'	
Angulo dedendum	γ	3°50	
Angulo de ataque	θ	20°	

Fig. II, 426. *Juego de engranajes cónicos acotados.*

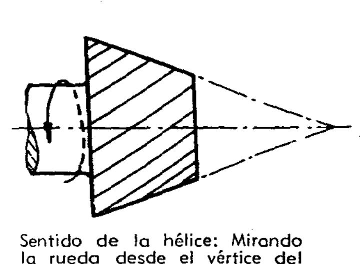
Engranajes cónicos de dientes rectos

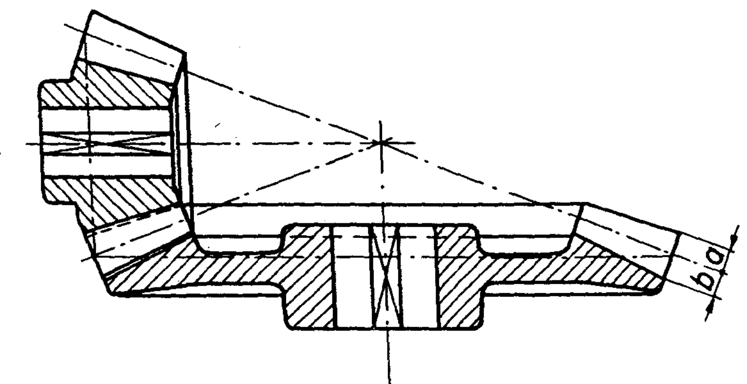


Elementos de las ruedas	Dentado recto					
	Rueda			Piñón		
	Normal	Corregido *	Rebajado	Normal	Corregido *	Rebajado
Módulo	m	m	m	m	m	m
N.° dientes	z_1	z_1	z_1	z_2	z_2	z_2
Diámetro primitivo	$d_1p = z_1 m$	$d_1p = z_1 m$	$d_1p = z_1 m$	$d_2p = z_2 m$	$d_2p = z_2 m$	$d_2p = z_2 m$
1/2 ángulo cono primitivo	$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{z_1}{z_2}$	$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{z_1}{z_2}$	$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{z_1}{z_2}$	$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{z_2}{z_1}$	$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{z_2}{z_1}$	$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{z_2}{z_1}$
Addendum	$a = m$	$a = (1 - x)m$	$a = 0{,}8m$	$a = m$	$a = (1 + x)m$	$a = 0.8m$
Dedendum	$b = 1{,}167m$	$b = (1{,}167 + x)m$	$b = 0{,}934m$	$b = 1{,}167m$	$b = (1{,}167 - x)m$	$b = 0{,}934m$
Diámetro exterior	$d_1e = d_1p + 2a \cos \alpha_1$	$d_1e = d_1p + 2a \cos \alpha_1$	$d_1e = d_1p + 2a \cos \alpha_1$	$d_2e = d_2p + 2a \cos \alpha_2$	$d_2e = d_2p + 2a \cos \alpha_2$	$d_2e = d_2p + 2a \cos \alpha_2$
Generatriz	$l_1 = \frac{mz_1}{2 \operatorname{sen} \alpha_1}$	$l_1 = \frac{mz_1}{2 \operatorname{sen} \alpha_1}$	$l_1 = \frac{mz_1}{2 \operatorname{sen} \alpha_1}$	$l_2 = \frac{mz_2}{2 \operatorname{sen} \alpha_2}$	$l_2 = \frac{mz_2}{2 \operatorname{sen} \alpha_2}$	$l_2 = \frac{mz_2}{2 \operatorname{sen} \alpha_2}$
Angulo addendun	$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{2 \operatorname{sen} \alpha_1}{z_1}$	$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{2(1 - x) \operatorname{sen} \alpha_1}{z_1}$	$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{0{,}8 \operatorname{sen} \alpha_1}{z_1}$	$\operatorname{tg} \beta_2 = \frac{2 \operatorname{sen} \alpha_2}{z_2}$	$\operatorname{tg} \beta_2 = \frac{2(1 + x) \operatorname{sen} \alpha_2}{z_2}$	$\operatorname{tg} \beta_2 = \frac{0{,}8 \operatorname{sen} \alpha_2}{z_2}$
Angulo dedendun	$\operatorname{tg} \gamma_1 = \frac{2 \cdot 1{,}167 \operatorname{sen} \alpha_1}{z_1}$	$\operatorname{tg} \gamma_1 = \frac{2(1{,}167 + x) \operatorname{sen} \alpha_1}{z_1}$	$\operatorname{tg} \gamma_1 = \frac{2 \cdot 0{,}934 \operatorname{sen} \alpha_1}{z_1}$	$\operatorname{tg} \gamma_2 = \frac{2 \cdot 1{,}167 \operatorname{sen} \alpha_2}{z_2}$	$\operatorname{tg} \gamma_2 = \frac{2(1{,}167 - x) \operatorname{sen} \alpha_2}{z_2}$	$\operatorname{tg} \gamma_2 = \frac{2 \cdot 0{,}934 \operatorname{sen} \alpha_2}{z_2}$
1/2 ángulo cono exterior	$\varphi_1 = \alpha_1 + \beta_1$	$\varphi_1 = \alpha_1 + \beta_1$	$\varphi_1 = \alpha_1 + \beta_1$	$\varphi_2 = \alpha_2 + \beta_2$	$\varphi_2 = \alpha_2 + \beta_2$	$\varphi_2 = \alpha_2 + \beta_2$
1/2 ángulo cono interior	$\varphi'_1 = \alpha_1 - \gamma_1$	$\varphi'_1 = \alpha_1 - \gamma_1$	$\varphi'_1 = \alpha_1 - \gamma_1$	$\varphi'_2 = \alpha_2 - \gamma_2$	$\varphi'_2 = \alpha_2 - \gamma_2$	$\varphi'_2 = \alpha_2 - \gamma_2$
Angulo complementario exter.	$\delta_1 = 90° - \varphi_1$	$\delta_1 = 90° - \varphi_1$	$\delta_1 = 90° - \varphi_1$	$\delta_2 = 90° - \varphi_2$	$\delta_2 = 90° - \varphi_2$	$\delta_2 = 90° - \varphi_2$
Angulo complementario inter.	$\omega_1 = 90° - \alpha_1$	$\omega_1 = 90° - \alpha_1$	$\omega_1 = 90° - \alpha_1$	$\omega_2 = 90° - \alpha_2$	$\omega_2 = 90° - \alpha_2$	$\omega_2 = 90° - \alpha_2$
Radio primitivo	$R_1 = \frac{d_1p}{2 \cos \alpha_1}$	$R_1 = \frac{d_1p}{2 \cos \alpha_1}$	$R_1 = \frac{d_1p}{2 \cos \alpha_1}$	$R_2 = \frac{d_2p}{2 \cos \alpha_2}$	$R_2 = \frac{d_2p}{2 \cos \alpha_2}$	$R_2 = \frac{d_2p}{2 \cos \alpha_2}$

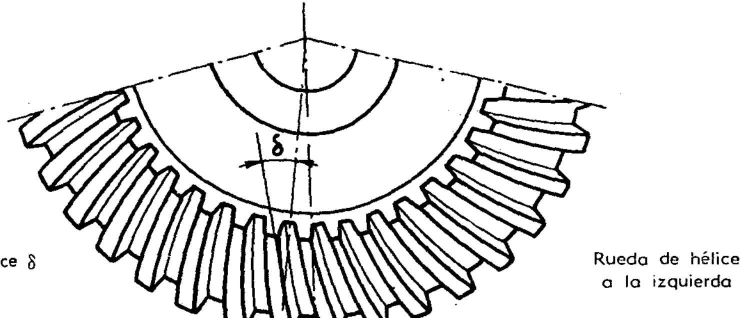
* La corrección sólo es necesaria cuando: z_2 es inferior a 14 dientes y cuando $\frac{z_1}{\cos \alpha_1} + \frac{z_2}{\cos \alpha_2} > 34$; $x = \frac{14 - \frac{z_2}{\cos \alpha_2}}{17}$; $l < \frac{l_2}{3}$; $l \cong (5 \div 0)\,m$; ángulo de ataque $\theta = 20°$

Engranajes cónicos de dientes helicoidales





Sentido de la hélice: Mirando la rueda desde el vértice del cono primitivo, el sentido de la hélice ha de ser el mismo que el sentido de rotación. En la figura el piñón gira a la izquierda y la hélice es a la izquierda.



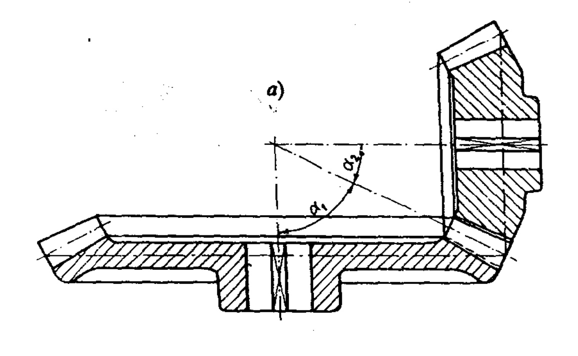
Ángulo de inclinación de la hélice δ
δ máx. = 10° ÷ 15°

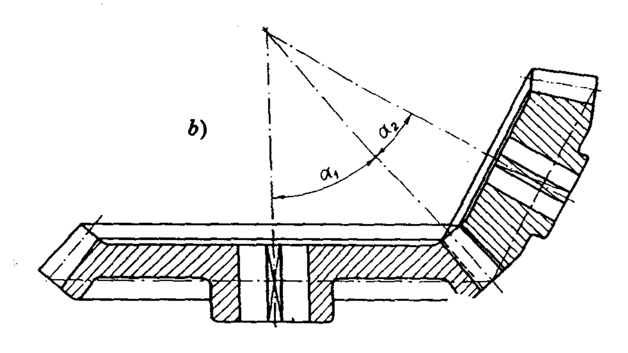
Rueda de hélice a la izquierda

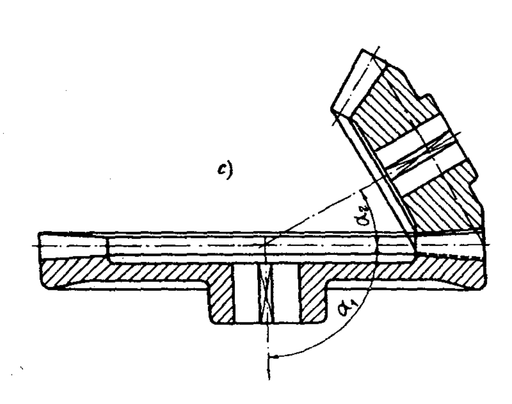
Elementos de las ruedas	Dentado helicoidal					
	Rueda			Piñón		
	Normal	Corregido *	Rebajado **	Normal	Corregido *	Rebajado **
Addendum	**a = m**	**a = (1 − x) m**	**a = 0,8 m**	**a = m**	**a = (1 + x) m**	**a = 0,8 m**
Dedendum	**b = 1,167 m**	**b = (1,167 + x) m**	**b = 0,934 m**	**b = 1,167 m**	**a = (1,167 − x) m**	**b = 0,934 m**

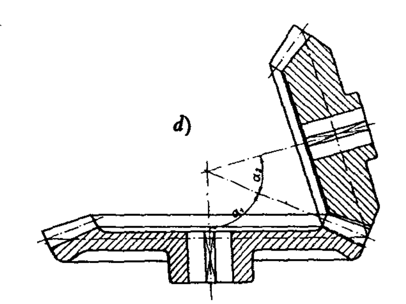
* La corrección sólo es necesaria para piñones con $z_2 < 14$ dientes.

** El dentado rebajado sólo se aplica a piñones con $z_2 > 25$ dientes $x = \dfrac{14 - \dfrac{z_2}{\cos^2 \delta \cos \alpha_2}}{17}$; ángulo de ataque $\theta = 20°$.









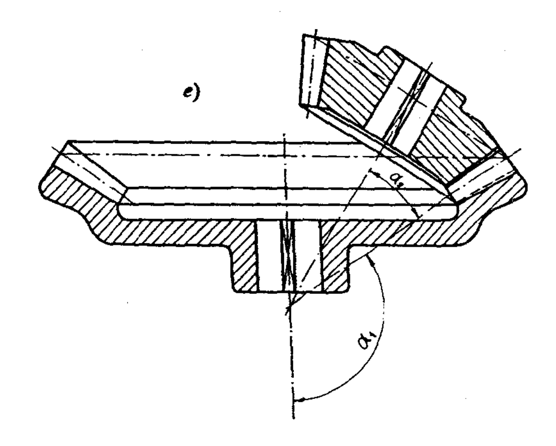


Fig. II, 427. *Al variar el ángulo formado por los ejes entre los que se transmite el movimiento, toman los engranajes configuraciones diversas.* a) ejes perpendiculares ($\alpha_1 + \alpha_2 = 90°$); b) en ángulo agudo ($\alpha_1 + \alpha_2 < 90°$); c) en ángulo obtuso ($\alpha_1 + \alpha_2 > 90°$, *con* $\alpha_1 = 90°$); d) en ángulo obtuso ($\alpha_1 + \alpha_2 > 90°$, *con* $\alpha_1 < 90°$); e) en ángulo obtuso ($\alpha_1 + \alpha_2 > 90°$, *con* $\alpha_1 > 90°$).

Entre las ruedas dentadas de dientes curvos tienen especial importancia las de dentados Zerol y Gleason (figs. II, 428-429), que tienen aplicación indicada en el caso en que uno de los árboles presente una ligera desviación. Pero cuando esta desviación tiene alguna importancia, se recurre a los juegos de engranajes llamados *hipoides* o *hipoidales*. En la figura II, 430 se ilustra un ejemplo.

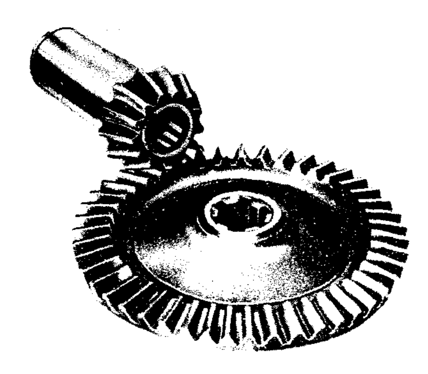


Fig. II, 428. *Juego de engranajes cónicos con dentado Zerol (Demm).*

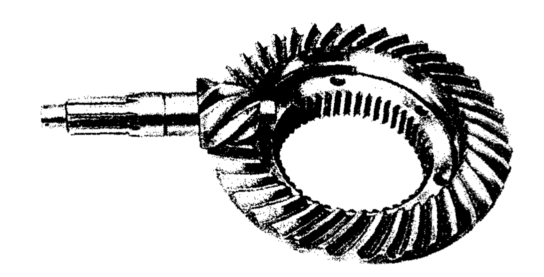


Fig. II, 429. *Juego de engranajes con dentado en espiral (Demm).*

En la figura II, 431 se representan esquemáticamente engranajes de este tipo. En la planta se ve claramente lo que se entiende por *desviación*. Los engranajes hipoidales tienen la ventaja de permitir un número mínimo de dientes pequeñísimo, comparados con los engranajes cilíndricos y cónicos, pudiéndose llegar a sólo tres dientes en el piñón; con esto se pueden obtener relaciones de transmisión muy elevadas.

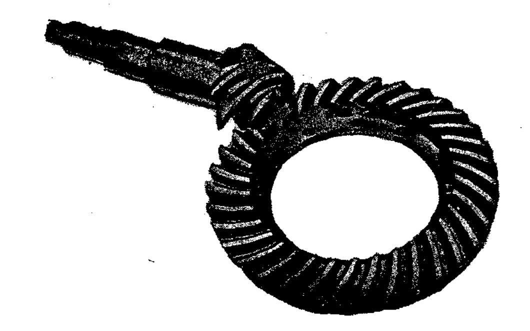
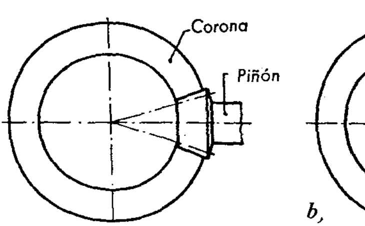
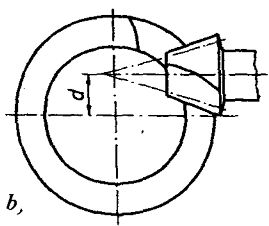


Fig. II, 430. *Juego de engranajes cónicos con dentado hipoide.*





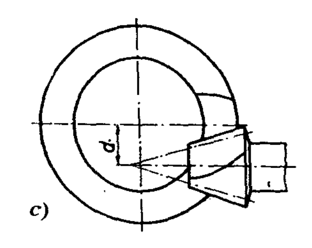
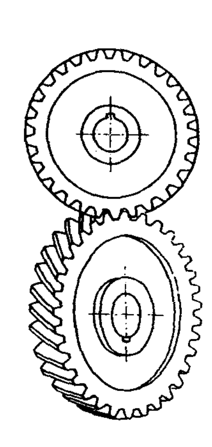


Fig. II, 431. *Esquema de dentados cónicos:* a) *eje del piñón pasando por el eje de la corona;* b, c) *eje del piñón que no pasa por el eje de la corona.*

83. Transmisiones por engranajes entre ejes que se cruzan

Cuando los ejes se cruzan en el espacio, se ha de recurrir a las ruedas dentadas helicoidales. En la figura II, 432 se representa un juego de engranajes helicoidales.



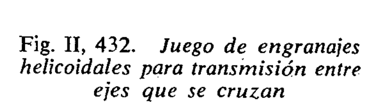


Fig. II, 432. *Juego de engranajes helicoidales para transmisión entre ejes que se cruzan*

La figura II, 433, representa un mecanismo de tornillo sin fin y rueda helicoidal, cuyos detalles característicos se han desarrollado en la figura II, 434 *a, b*. En la figura II, 435 se reproduce una fotografía de un juego de engranajes de este tipo, montado y desmontado.

En la tabla 162 se representa un acoplamiento tornillo sin fin-rueda helicoidal, con una pequeña tabla de los elementos de cálculo. Damos a continuación un breve criterio del cálculo para determinar sus elementos, tanto del tornillo como de la rueda acoplada, cálculo que se basa en la consideración de que *el paso axial del tornillo coincide con el paso circunferencial de la rueda; es decir, que:*

$$p_a = p_c \qquad\qquad m_a = m_c$$

a) *Tornillo.* Dada la inclinación β del filete y el módulo normal m_n, se calcula el módulo axial: $m_n = m_a \cos \beta$.

Y siendo:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{p_a}{\pi d_p}$$

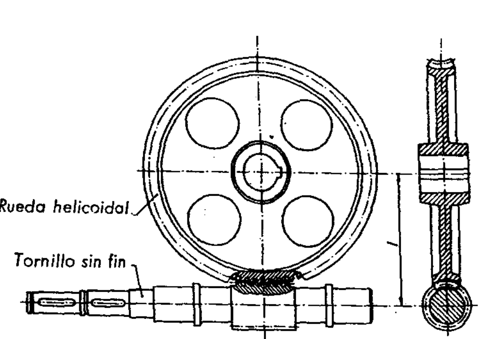
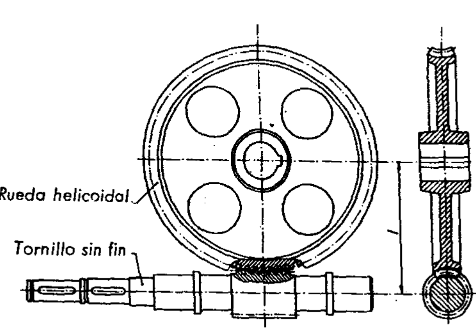
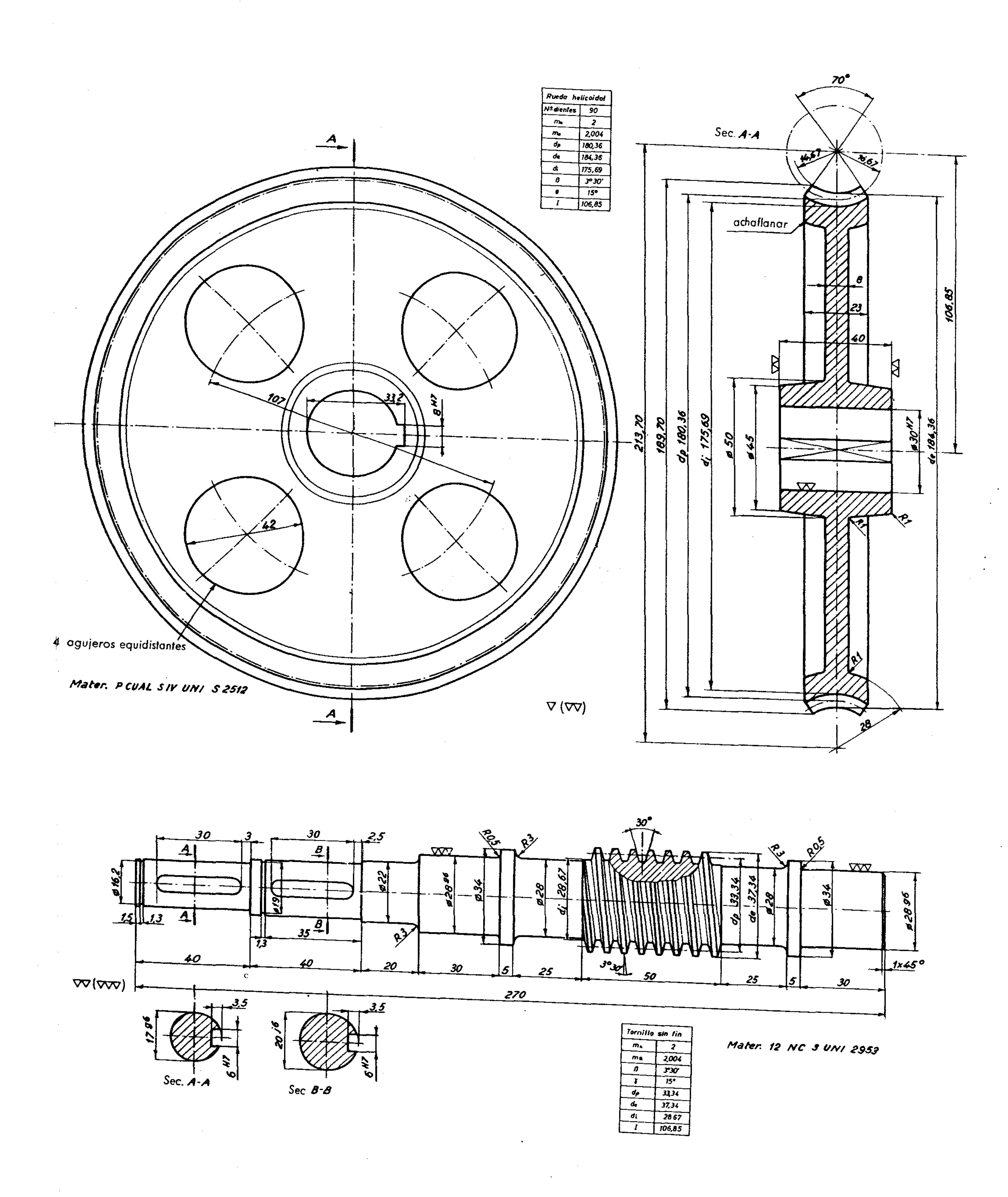



Fig. II, 433. *Mecanismo reductor con tornillo sin fin y rueda helicoidal.*

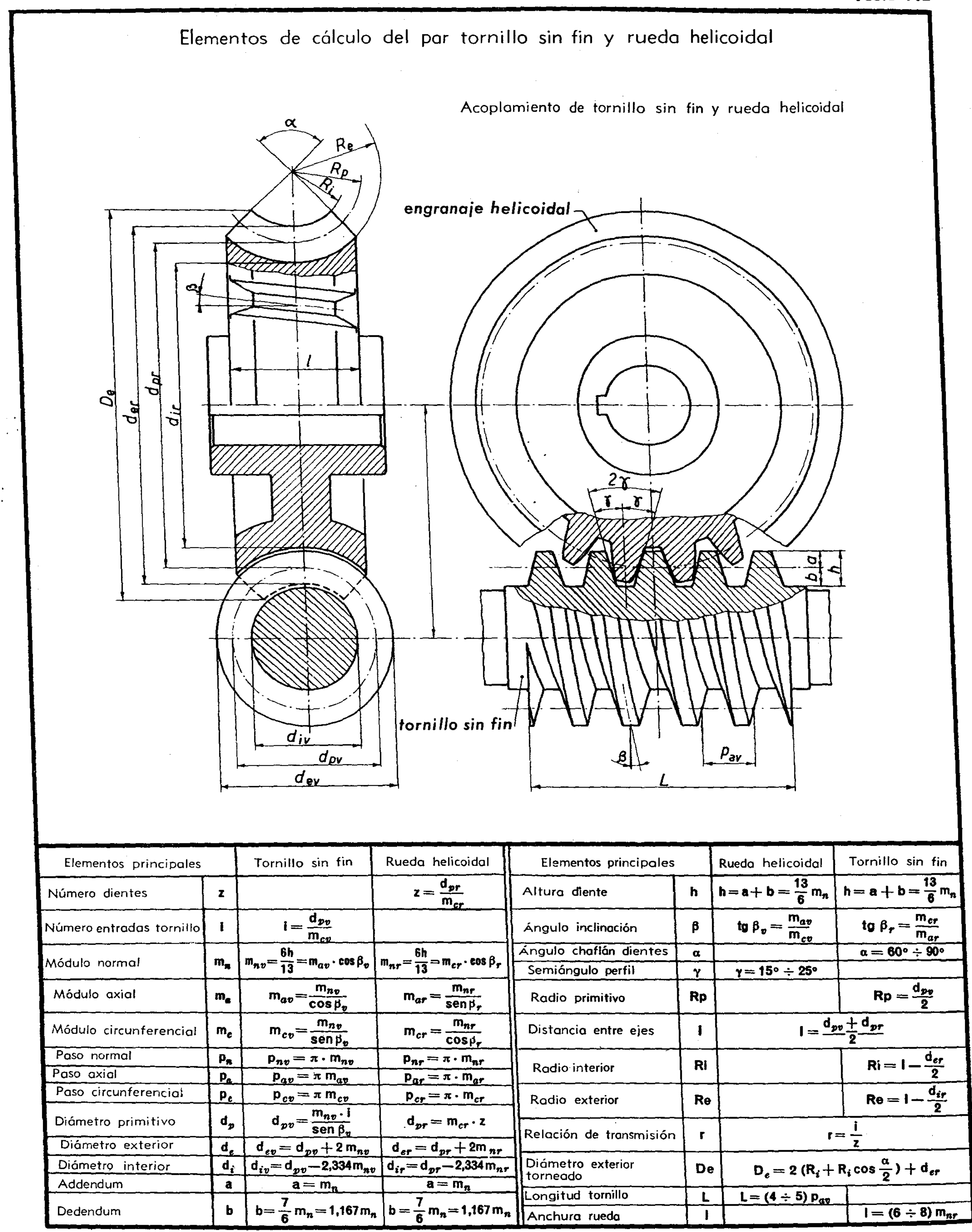


Rueda helicoidal	
Nº dientes	90
m_n	2
m_a	2,004
d_p	180,36
d_e	184,36
d_i	175,69
β	3°30'
θ	15°
I	106,85

Tornillo sin fin	
m_n	2
m_a	2,004
β	3°30'
γ	15°
d_p	33,34
d_e	37,34
d_i	28 67
I	106,85

Fig. II, 434. a, b) *Detalle del par tornillo sin fin-rueda helicoidal.*

Elementos de cálculo del par tornillo sin fin y rueda helicoidal



Elementos principales		Tornillo sin fin	Rueda helicoidal
Número dientes	z		$z = \frac{d_{pr}}{m_{cr}}$
Número entradas tornillo	i	$i = \frac{d_{pv}}{m_{cv}}$	
Módulo normal	m_n	$m_{nv} = \frac{6h}{13} = m_{av} \cdot \cos \beta_v$	$m_{nr} = \frac{6h}{13} = m_{cr} \cdot \cos \beta_r$
Módulo axial	m_a	$m_{av} = \frac{m_{nv}}{\cos \beta_v}$	$m_{ar} = \frac{m_{nr}}{\operatorname{sen} \beta_r}$
Módulo circunferencial	m_c	$m_{cv} = \frac{m_{nv}}{\operatorname{sen} \beta_v}$	$m_{cr} = \frac{m_{nr}}{\cos \beta_r}$
Paso normal	p_n	$p_{nv} = \pi \cdot m_{nv}$	$p_{nr} = \pi \cdot m_{nr}$
Paso axial	p_a	$p_{av} = \pi\, m_{av}$	$p_{ar} = \pi \cdot m_{ar}$
Paso circunferencial	p_c	$p_{cv} = \pi\, m_{cv}$	$p_{cr} = \pi \cdot m_{cr}$
Diámetro primitivo	d_p	$d_{pv} = \frac{m_{nv} \cdot i}{\operatorname{sen} \beta_v}$	$d_{pr} = m_{cr} \cdot z$
Diámetro exterior	d_e	$d_{ev} = d_{pv} + 2\, m_{nv}$	$d_{er} = d_{pr} + 2m_{nr}$
Diámetro interior	d_i	$d_{iv} = d_{pv} - 2{,}334 m_{nv}$	$d_{ir} = d_{pr} - 2{,}334 m_{nr}$
Addendum	a	$a = m_n$	$a = m_n$
Dedendum	b	$b = \frac{7}{6} m_n = 1{,}167 m_n$	$b = \frac{7}{6} m_n = 1{,}167 m_n$

Elementos principales		Rueda helicoidal	Tornillo sin fin
Altura diente	h	$h = a + b = \frac{13}{6} m_n$	$h = a + b = \frac{13}{6} m_n$
Ángulo inclinación	β	$\operatorname{tg} \beta_v = \frac{m_{av}}{m_{cv}}$	$\operatorname{tg} \beta_r = \frac{m_{cr}}{m_{ar}}$
Ángulo chaflán dientes	α		$\alpha = 60° \div 90°$
Semiángulo perfil	γ	$\gamma = 15° \div 25°$	
Radio primitivo	Rp		$Rp = \frac{d_{pv}}{2}$
Distancia entre ejes	l	$l = \frac{d_{pv} + d_{pr}}{2}$	
Radio interior	Ri		$Ri = l - \frac{d_{er}}{2}$
Radio exterior	Re		$Re = l - \frac{d_{ir}}{2}$
Relación de transmisión	r	$r = \frac{i}{z}$	
Diámetro exterior torneado	De	$D_e = 2\,(R_i + R_i \cos \frac{\alpha}{2}) + d_{er}$	
Longitud tornillo	L	$L = (4 \div 5)\, p_{av}$	
Anchura rueda	l		$l = (6 \div 8)\, m_{nr}$

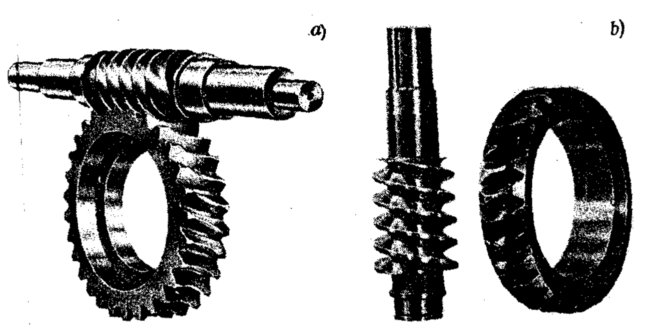


Fig. II, 435. *Fotografía de dos juegos de tornillo sin fin y rueda helicoidal* (Cavex); *en* b) *están separadas las dos piezas.*

se tiene:

$$p_a = \pi m_a ; \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{\pi m_a}{\pi d_p} = \frac{m_n}{d_p \cos \beta} ;$$

y por lo tanto

$$d_p = \frac{m_n}{\operatorname{tg} \beta \cos \beta} = \frac{m_n}{\operatorname{sen} \beta}$$

Esto se verifica sólo si el tornillo es de una sola entrada; en caso contrario, se ha de multiplicar evidentemente el diámetro primitivo por el número **i** de filetes.

Se calculan luego los diámetros exterior e interior:

$$d_e = d_p + 2m_n \qquad d_i = d_p - \frac{7}{3} m_n .$$

b) *Rueda.* Se procede igual que para las ruedas helicoidales normales. Se calcula el diámetro primitivo d_p

$$d_p = m_c z = \frac{m_n}{\cos \beta} z \qquad d_e = d_p + 2m_n$$

$$d_i = d_p - \frac{7}{3} m_n .$$

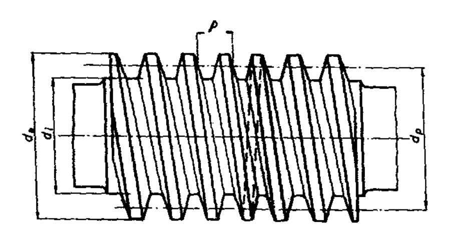
El paso axial y el de la hélice se calculan por las fórmulas:

$$p_a = m_a \pi \qquad p_e = \frac{\pi d_p}{\operatorname{tg} \beta} .$$

También puede hacerse el cálculo partiendo del diámetro primitivo del tornillo, de modo perfectamente análogo. Es evidente que se tendrá que recurrir a este segundo método cuando, por cualquier motivo, se dé previamente el diámetro del tornillo del cual se haya de deducir el cálculo del paso.

Cuando el ángulo β es muy pequeño, su coseno tiene un valor muy próximo a la unidad; por lo que m_a casi coincide con m_n. En la práctica puede admitirse esta igualdad, especialmente si el número de dientes z de la rueda no es muy grande. Pero para cálculos más exactos, se ha de tener en cuenta la diferencia entre m_n y m_a. Esta diferencia se ha tenido en cuenta en la figura II, 434 *a, b.* que representa precisamente un tornillo sin fin y su correspondiente rueda helicoidal, de un reductor con relación de velocidades de 1/90.

Advertimos además que para obtener mayor regularidad en la transmisión del movimiento se acostumbra recurrir a los tornillos de varias entradas; la figura II, 436 representa dos tornillos del mismo diámetro, de una y dos entradas respectivamente, y demuestra claramente la diferente inclinación de los filetes.



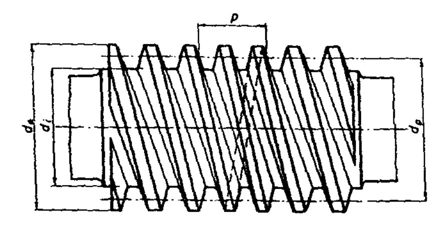


Fig. II, 436. *Esquema de dos tornillos que tienen los mismos diámetros primitivos, exterior e interior;* a) *de una sola entrada;* b) *de dos entradas. Se puede ver claramente la diferente inclinación de los filetes.*

En la figura II, 437 se representa el par tornillo sin fin-rueda helicoidal de un reductor del mismo tipo, pero con el tornillo del tipo llamado *globoide*. Este tipo de tornillo junto a la ventaja de tener varios filetes engranando simultáneamente, presenta varios inconvenientes como son la mayor dificultad de su construcción y el mayor rozamiento de funcionamiento producido por las fricciones múltiples. Necesitan para su construcción herramientas especiales y para su funcionamiento una escrupulosa lubricación.

84. Transmisiones por correa corriente

Las transmisiones por correa sencilla, desde el punto de vista del dibujo técnico, apenas necesitan algunas nociones complementarias de las estudiadas en la mecánica, especialmente sobre el cálculo de las poleas.

Dado que las grandes transmisiones por correa no se instalan actualmente sino en casos excepcionales y que las actualmente instaladas se van desmontando progresivamente, daremos sólo algunos datos sobre la construcción de las poleas de fundición.

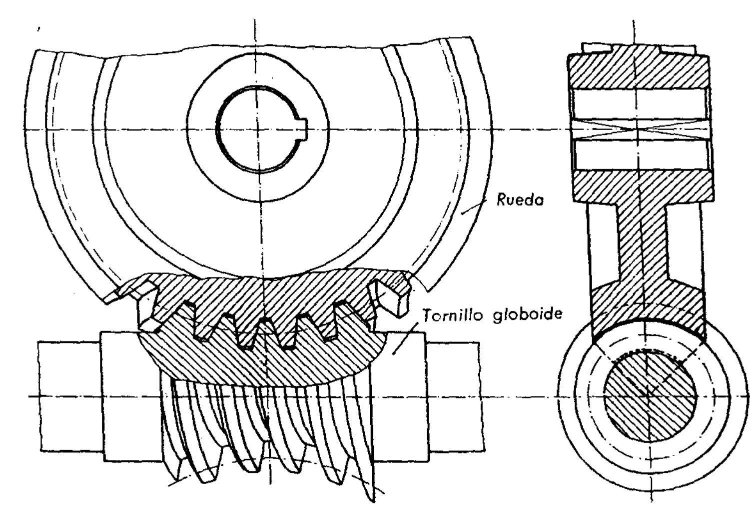


Fig. II, 437. *Par tornillo sin fin-rueda helicoidal, con tornillo de tipo* globoide. *Contrarrestan las mejores condiciones del engrane las grandes dificultades de construcción, que exigen dispositivos especiales.*

Llamando (fig. II, 438) **D** al diámetro, **R** al radio, **B** a la anchura de la llanta, **b** a la anchura de la correa en mm, se tiene generalmente para las poleas con correas abiertas:

$$\mathbf{B = 1{,}1\ b + 10\ mm} \qquad \mathbf{R = D}$$

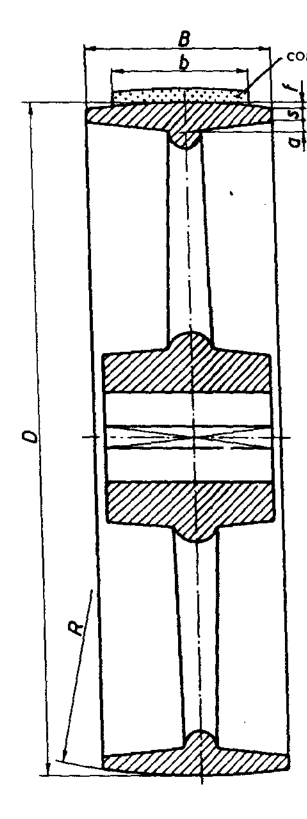


Fig. II, 438. *Sección de polea con sus elementos característicos. Se llama la atención sobre el bombeo de la superficie exterior de la llanta, necesario para mantener centrada la correa sobre la llanta. Solamente en el caso de transmisión con polea fija y loca juntas, con correa desplazable (dispositivo poco usado actualmente) las poleas han de ser cilíndricas, sin bombeo, para facilitar todo lo posible los desplazamientos de la correa.*

Para correas cruzadas o con movimiento oscilatorio y para poleas de reenvío, se aumenta **B** en 30 ÷ 60 mm; para correas semicruzadas se multiplica **B** por 1,25 ÷ 1,5.

La flecha f del bombeo de la llanta (fig. II, 438) tiene generalmente el valor

$$\mathbf{f = 0{,}03\ B}$$

El espesor **s** de la llanta es:

$$\mathbf{s = 2 + 0{,}01\ b}$$

El aumento de espesor **a** de la polea sobre su cara interior es corrientemente igual a **s.**

El número de brazos es generalmente 4 para $D \leq 700$ mm; **6** para D comprendido entre 700 y 2200 mm; 8 para diámetros mayores.

La sección de los brazos es de forma ovalada, como se ve en la figura II, 439, con el eje mayor **h** en el plano de giro; cerca del cubo se tiene:

$$\mathbf{h} = \frac{0{,}32\ \sqrt{\mathbf{D}}}{\mathbf{i}};$$

el eje menor es $\left(\frac{1}{2} \div \frac{1}{3}\right)\mathbf{h}$; estas medidas se reducen a unos 2/3 cerca de la llanta.

Todas las medidas indicadas son las de uso corriente; no hay ninguna unificada.

En la figura II, 439 se representa el dibujo completo de una polea de pequeño diámetro.

En las poleas de gran diámetro es necesario evitar que la contracción que tiene lugar durante el enfriamiento que sigue a la fusión, pueda producir tensiones peligrosas en los brazos; para ello, se da, en este caso, a los brazos la forma representada en la figura II, 440. La construcción se indica en la leyenda.

Muchas veces las poleas de brazos rectos se construyen en dos partes (fig. II, 441) para poderlas montar sobre árboles ya instalados. Las poleas se fijan sobre los árboles con chavetas, cuando son de una sola pieza; cuando son de dos piezas, la presión de los pernos crea generalmente un rozamiento suficiente para asegurar la transmisión.

Para aligerar la polea, la llanta puede ser de palastro y los brazos de hierros redondos o tubos de hierro, empotrados en el cubo, que siempre es de fundición.

En la figura II, 442 se representa una polea escalonada que puede transmitir a cuatro velocidades.

La anchura de las correas se calcula en función de la distancia entre ejes **i** y de los diámetros $\mathbf{d_1}$ y $\mathbf{d_2}$ de las poleas:

(correa abierta)

$$L = \frac{d_1}{2} + \frac{d_2}{2} + 2\sqrt{i^2 + \frac{(d_1 - d_2)^2}{4}};$$

(correa cruzada)

$$L = \frac{d_1}{2} + \frac{d_2}{2} + \sqrt{i^2 + \frac{(d_1 + d_2)^2}{4}}$$

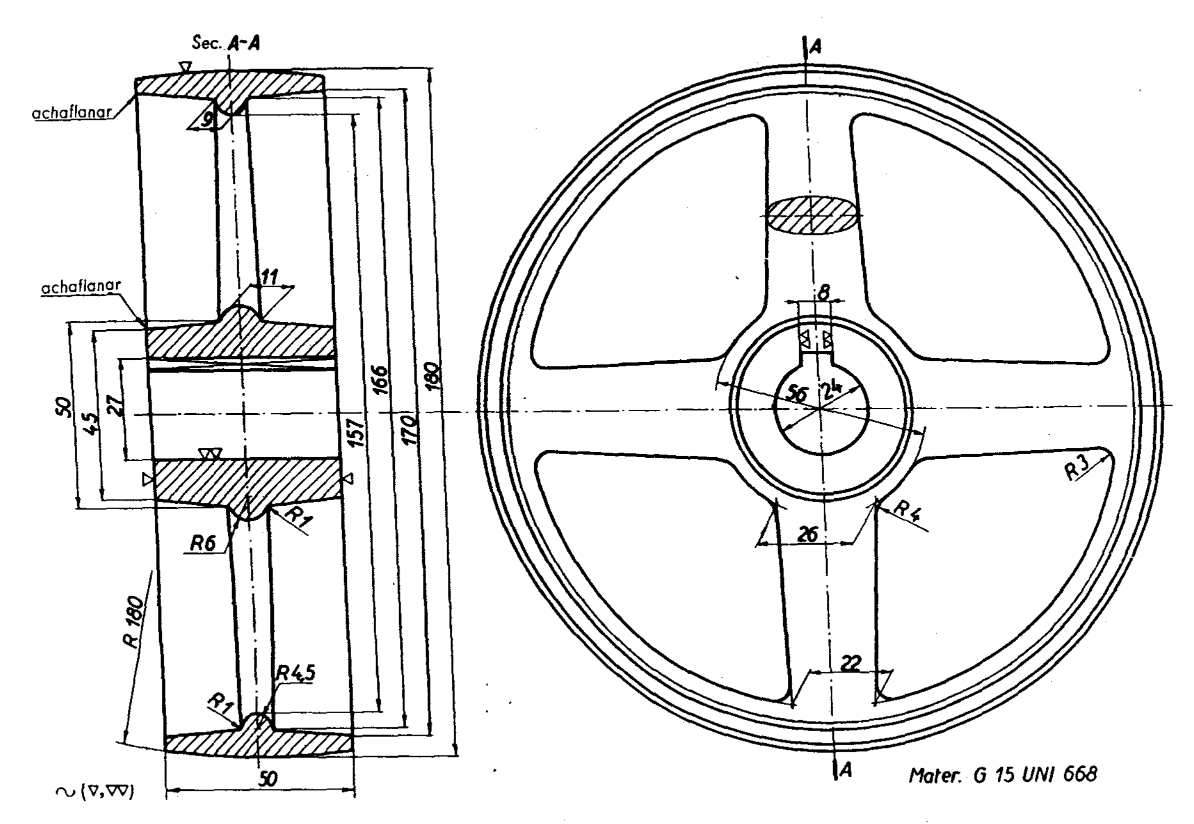


Fig. II, 439. *Dibujo de una polea.*

85. Transmisiones por correas trapeciales

Mientras que las transmisiones por correa corriente van cayendo en desuso, las transmisiones por correas trapeciales se van extendiendo rápidamente por las grandes ventajas que presentan, bajo todos los puntos de vista, entre los cuales figuran:

a) *La gran adherencia,* debida tanto a los materiales de la correa como al efecto de cuña de la misma sobre la garganta de la polea.

b) *La posibilidad de elevadas relaciones de transmisión* superiores aun a 1:12, con la consiguiente posibilidad de empleo para motores rápidos, que, a igualdad de potencia, tienen un precio mucho más bajo.

c) *Reducción de espacio,* no teniéndose que preocupar prácticamente por el ángulo abrazado sobre la polea menor, por el motivo a), no siendo por lo tanto necesario fijar una distancia mínima entre los árboles.

d) *Necesidad de tensiones muy pequeñas* y por lo tanto menos presión en los soportes.

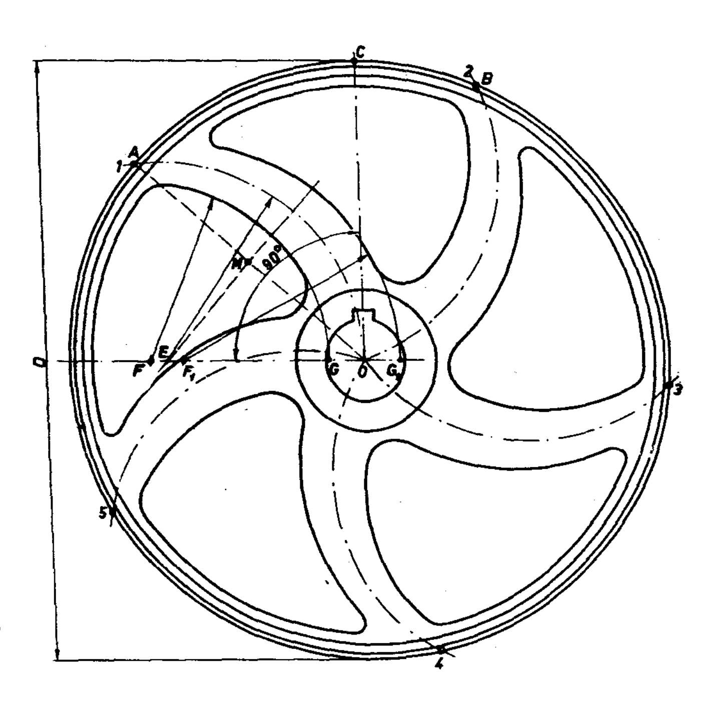


Fig. II, 440. *Polea de gran tamaño con brazos en espiral, para evitar los perjuicios que pueda causar la contracción, después de la fusión. Para dibujar los brazos de este tipo de polea, se divide la circunferencia en tantas partes como brazos: en el caso de la figura, son 5: y sea* AB *uno de los arcos correspondientes. Se fija un punto* C *tal que se verifique* $AC = 2/3\ AB$. *Desde el centro* O *se traza* CO *y su perpendicular: se traza luego el eje del segmento* OA, *que determina el punto* E. *Se señalan luego los puntos* F *y* F_1 *tales que se verifique* $EF = EF_1 = 1/6\ GG_1$. F *y* F_1 *son los centros del perfil del brazo.*

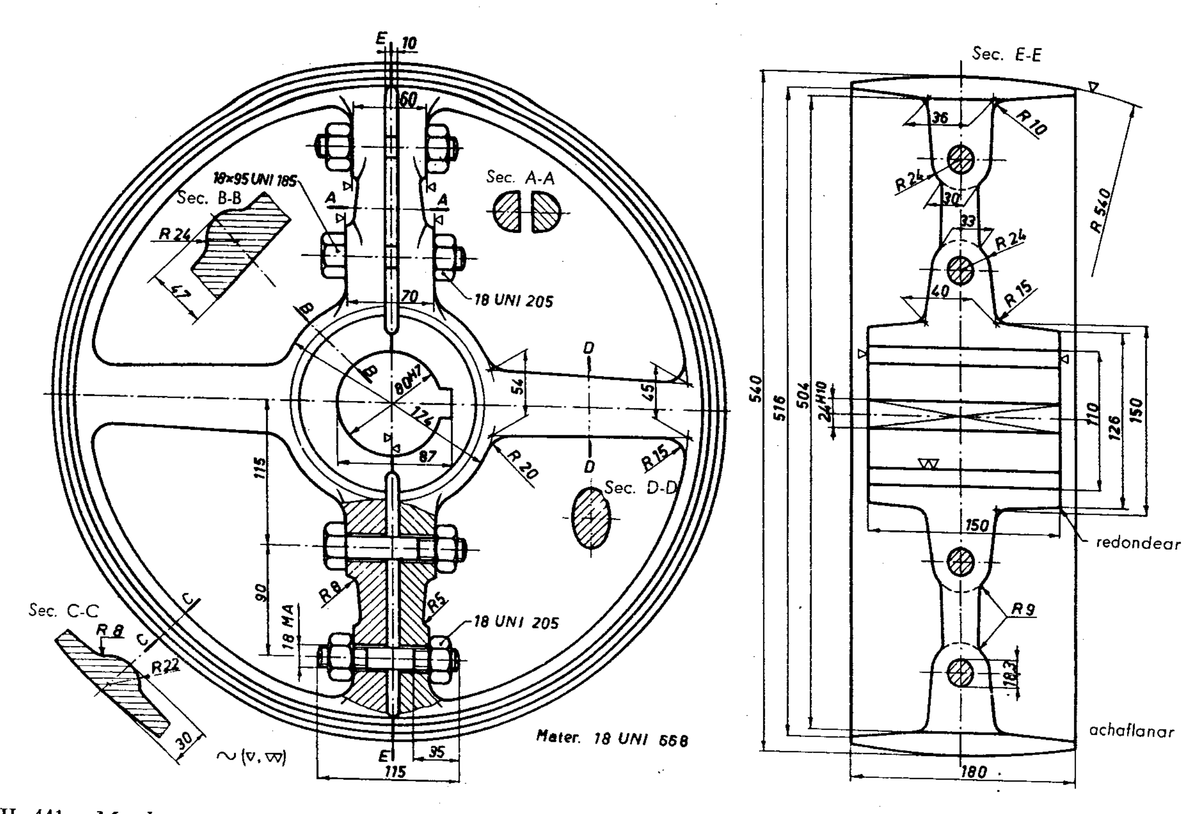


Fig. II, 441. *Muchas veces las poleas de brazos rectos se construyen en dos partes, para poderlas montar fácilmente sobre los árboles de transmisión.*

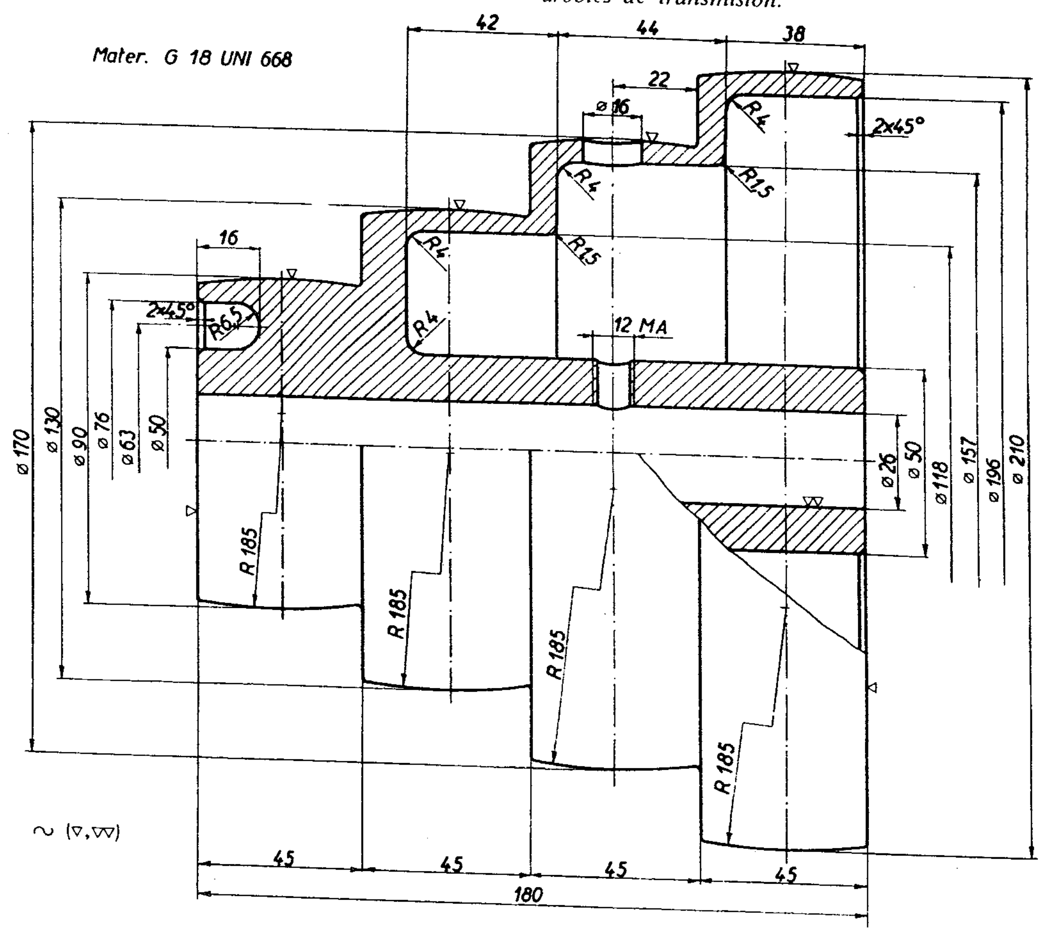


Fig. II, 442. *Polea escalonada. En esta polea escalonada los diámetros están en progresión aritmética; en otras están dispuestas en progresión geométrica.*

Tienen además otras ventajas menos fundamentales pero, en casos particulares, de mucha importancia, como son transmisión más silenciosa, elasticidad de la transmisión que atenúa considerablemente los choques por bruscas variaciones de carga, mayor rendimiento, a consecuencia del movimiento más uniforme de la correa, facilidad de montaje y menores gastos de conservación.

Las correas trapeciales de lona y caucho (Pirelli) tienen la constitución interna representada en la figura II, 443.

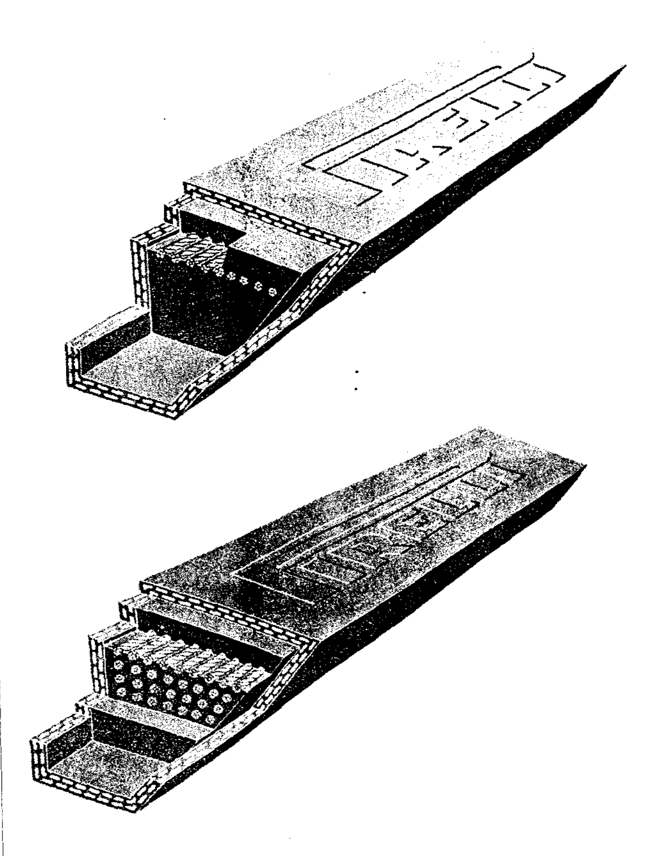


Fig. II, 443. *Correas trapeciales (Pirelli) cortadas para hacer visible su constitución:* a) *tipo* Monocord; b) *tipo* Pluricord.

La tabla **UNI 488-89** unifica las medidas *a* y *b* de las correas trapeciales, como indica la tabla 163.

Además de estas medidas hay otras mayores no unificadas.

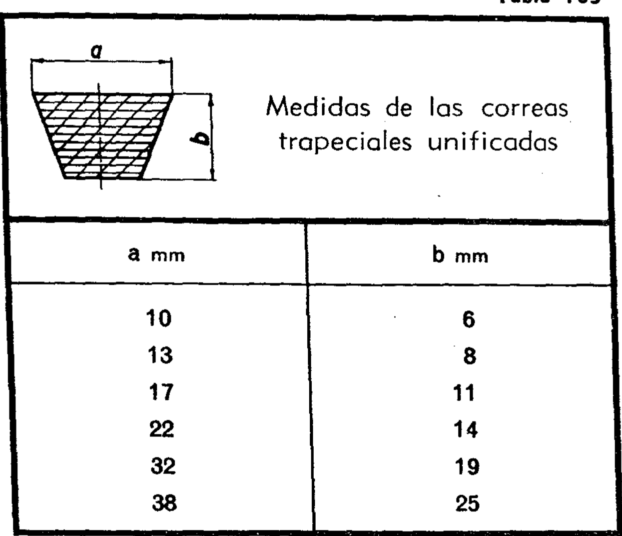
No se indica en dicha tabla la inclinación de los flancos, porque, más que la forma de la sección de la correa, antes de su montaje, interesa que la misma, deformada al arrollarse sobre las poleas, se adapte a la inclinación de los flancos de las gargantas de las poleas; estas inclinaciones están unificadas en la tabla **UNI 490.**

En la tabla 164 se reproduce otra que contiene, además de los datos correspondientes a los tipos unificados, los de algunos tipos fabricados por la Sociedad Pirelli.

En las tablas **UNI 491-494** se indican las normas para la adquisición y modo de empleo de las correas trapeciales; a continuación damos las normas principales.

La tabla 165 da la fuerza tangencial que una correa de cada una de las secciones unificadas arriba

Tabla 163



Medidas de las correas trapeciales unificadas

a mm	b mm
10	6
13	8
17	11
22	14
32	19
38	25

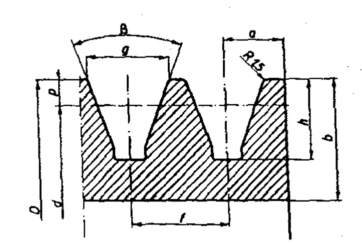
Tabla 163 (bis)

Gargantas de las poleas para correas trapeciales para transmisiones ligeras

Correa a mm	Correa b mm
5	3
[illegible]	4

Polea mm	Tipo de correa 5 × 3	Tipo de correa 6 × 4
a	5 ± 0,1	6 ± 0,1
P	1,5	2
h	≥ 5	≥ 6
d	D − 3	D − 4
ß	38° (para d > 50) 36° (para d = 22 ÷ 50) 34° (para d < 22)	38° (para d > 70) 36° (para d = 40 ÷ 70) 34° (para d < 40)

Tabla de los elementos de las correas trapeciales (Pirelli)



Sección de la correa		Z 10 × 6	A 13 × 8	B 17 × 11	C 22 × 14	D 32 × 19	E 38 × 25	F 51 × 30	β
g	mm	10	13	17	22	32	38	51	
D	mm	*51	—	—	—	—	—	—	32°
		*56	—	—	—	—	—	—	32°
		*61	—	—	—	—	—	—	34°
		*66	*73	—	—	*319	—	—	34°
		*71	*83	136	*189	*344	—	—	34°
		*76	*93	*146	214	*369	—	*730	34°
		77	98	—	—	—	—	—	34°
		86	108	151	238	374	525	—	34°
		—	—	—	—	419	585	*780	34°
		96	120	171	264	469	655	*1030	36°
		106	133	191	294	519	735	*1280	36°
		—	—	—	—	579	825	—	36°
		118	148	211	329	649	925	*1530	38°
		131	168	235	369	729	1025	*1780	38°
		146	188	261	414	819	1145	—	38°
		166	208	291	464	919	1275	*2030	40°
		186	232	326	514	1019	1425	*2530	40°
		206	258	366	574	1139	1625	*3030	40°
		230	288	411	644	1269	1825	*4030	40°
		256	323	461	724	1419	2025	—	40°
		286	363	511	814	1619	2265	—	40°
		321	408	571	914	1819	2525	—	40°
		361	458	641	1014	2019	2825	—	40°
h mínimo	mm	12	14	17	24	30	36	42	
p	mm	3	4	5,5	7	9,5	12,5	15	
d	mm	D – 6	D – 8	D – 11	D – 14	D – 19	D – 25	D – 30	
f	mm	13	16	20	27	37	45	56	
a	mm	8	10	13	17	24	30	37	
b	mm	17	20	25	33	40	50	60	

* Diámetros no unificados y no incluidos en la tabla UNI 490.

indicadas puede transmitir, según las fuerzas tangenciales correspondientes a las diferentes velocidades periféricas; se indican las correspondientes potencias transmisibles, en el supuesto de que el ángulo abrazazo α sea de 180° y que la carga sea constante. Si el ángulo α es menor (fig. II, 444), la potencia P se ha de *multiplicar* por un coeficiente f (menor que 1) indicado en la misma tabla; y si la carga es variable, la potencia se ha de *dividir* por un coeficiente m (mayor que 1) que se indica en función del porcentaje de la sobrecarga sobre la carga normal.

El ángulo abrazado α puede deducirse de la fórmula:

$$\cos\frac{\alpha}{2} = \frac{d(k-1)}{2J};$$

Tabla 165

Tabla para escoger las medidas de las correas trapeciales								
Sección de la correa		10×6	13×8	17×11	22×14	32×19	38×25	Coeficientes de corrección de la potencia
Diámetro primitivo d (mm) de la polea menor	mínimo normal	71	90	140	224	355	500	Si el ángulo abrazado es < 180°, se **multiplica P'** por el siguiente coeficiente: α = 180° 160° 140° 120°; f = 1 0,95 0,89 0,83
	mínimo excepcional	63	80	125	200	315	450	
Fuerza tangencial T (en kg)		5	14	20	45	84	120	
Potencia P' transmisible (en CV) a la velocidad V, **con carga constante y con ángulo abrazado de 120°.** (Si las condiciones son diferentes, se ha de aplicar el coeficiente de corrección de la columna de la derecha.)	v = 5 m/s	0,3	0,9	1,3	3,0	5,5	7,9	En caso de sobrecarga, se **divide P'** por el siguiente coeficiente: m sobrecarga % = 25 50 100 150; m = 1,1 1,2 1,4 1,6
	= 10 „	0,6	1,8	2,5	5,8	11	15	
	= 15 „	0,9	2,5	3,5	7,9	15	21	
	= 20 „	1,0	2,9	4,2	9,4	17	25	
	= 25 „	1,1	3,1	4,5	10	18	27	

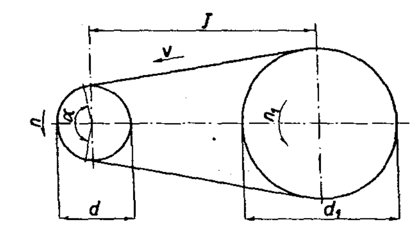


Fig. II, 444. *El ángulo abrazado por la correa sobre la polea menor es < 180°.*

o también, aproximadamente, de:

$$\alpha = 180 - 57\frac{d(k-1)}{J}$$

donde k es la relación de transmisión y J es la distancia entre los ejes de las poleas, en mm.

La velocidad periférica V (que no debe ser superior a 25 m/seg) se calcula por la fórmula siguiente, en la que d es el diámetro en mm y n el número de vueltas por minuto:

$$V = \frac{nd}{19100} = \frac{n_2 d_2}{19100}$$

Deducidos de las tablas los valores de **P', T, f, m,** se calcula el número de correas necesario para transmitir la potencia dada **P**, valiéndose de la fórmula:

$$c = \frac{75\,m\,P'}{Tqf}$$

o también (aproximadamente),

$$c = \frac{mP}{P'f}\,.$$

Para emplear la primera de estas fórmulas se obtendrá el coeficiente q de la siguiente tabla 166, en función de V.

Finalmente se puede calcular la longitud **L** de la correa que se empleará, valiéndose de la relación:

$$L = 2Js + \pi d\,,$$

en la que s es un coeficiente dado por la tabla 167, en función del ángulo abrazado.

Para estos dos últimos cálculos (de c y de L) pueden también utilizarse las tablas gráficas contenidas en las tablas **UNI 491-494.**

Tabla 166

Valores del coeficiente **q** en función de **V**

V (m/seg)	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	25
q	4,93	5,89	7,73	9,47	11,1	12,6	13,8	14,9	15,8	16,4	16,6	16,7

Tabla 167

Valores del coeficiente **s** en función de α

α°	180	175	170	165	160	155	150	145	140	135	130	125	120
s	1	1,07	1,14	1,21	1,29	1,36	1,44	1,52	1,60	1,68	1,75	1,83	1,91

Cuando no se da la distancia entre ejes **J**, puede determinarse, según las instrucciones dadas por la Sociedad Pirelli, del modo siguiente:

$$J \geqq \frac{(k+1)d}{2} + d \quad \text{para valores de } k \text{ comprendidos entre 1 y 3}$$

$$J \geqq D \qquad \text{para } k \geqq 3,$$

siendo **D** el diámetro primitivo de la polea mayor y **d** el de la menor.

Si se dan como datos los diámetros de las poleas y se da el desarrollo total de la correa, la distancia entre ejes se puede calcular por la fórmula:

$$J = A + \sqrt{A^2 - B^2}$$

de la que resulta

$$A = \frac{L}{4} - 0{,}3927\,(D + d);$$

$$B^2 = 0{,}125\,(D - d)^2.$$

Siempre siguiendo las instrucciones citadas, se permite el uso de la polea mayor con superficie cilíndrica, impropiamente llamada «plana» en lugar de acanalada (fig. II, 445), cuando el arco de contacto sobre la polea menor está comprendido entre 100° y 150°, condición que se verifica para las distancias entre ejes adoptadas generalmente para relaciones de transmisión entre 3 y 10. Pero en este caso la cara exterior de la polea mayor ha de ser cilíndrica, sin el bombeo usado en las transmisiones por correa plana.

Para el empleo racional de las correas trapeciales es necesario prever que el motor esté montado sobre carriles tensores u otro órgano equivalente, para que al colocar las correas se pueda acercar el motor, y luego alejarlo para tensar las correas y mantenerlas en la tensión exacta, aun después del ajuste inicial y consiguiente alargamiento.

El desplazamiento total que se ha de prever para el motor sobre los carriles será la suma del corrimiento mínimo necesario para el montaje de las correas y el mínimo para tensarlas, como se indica en la tabla 168. En el caso de que sea imposible variar la distancia entre ejes para poder obtener la tensión correcta de las correas, se pueden colocar rodillos tensores apropiados, dispuestos como indica esquemáticamente la figura II, 446; pero téngase presente que esto es un recurso que se ha de evitar siempre que se pueda.

Generalmente los rodillos tensores se apoyan sobre

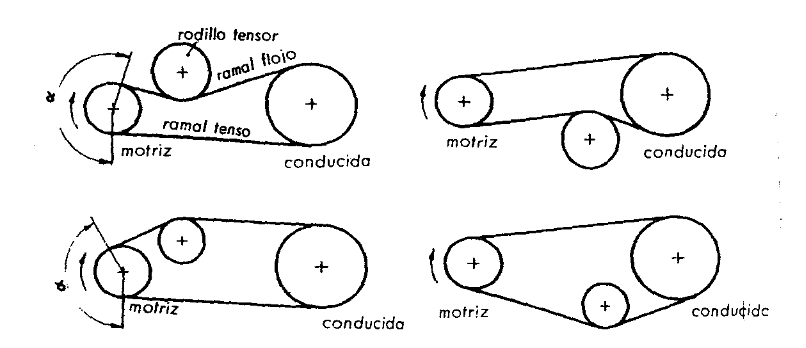


Fig. II, 446. *Esquema de las posibles aplicaciones de los rodillos tensores:* a) *tensor sobre el ramal flojo;* b) *tensor sobre el ramal tenso.*

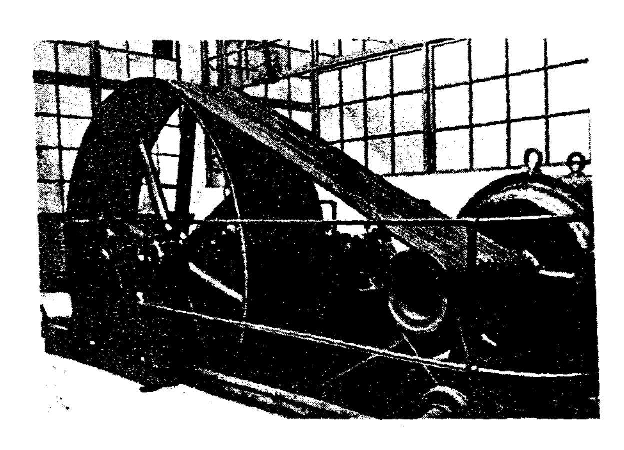


Fig. II, 445. *Cuando el arco abrazado sobre la polea menor está comprendido entre 100° y 150°, se puede usar la polea mayor de llanta cilíndrica (llamada también* plana).

la cara exterior de las correas y son sencillamente poleas de superficie lisa; o bien sobre la cara interior de las correas, usándose en este caso preferentemente poleas acanaladas. Los rodillos interiores disminuyen el arco de contacto y en cambio los exteriores lo aumentan, mejorando en consecuencia el rendimiento de la transmisión.

Los rodillos interiores han de tener un diámetro no inferior a 1/3 del de la polea menor; y han de actuar siempre que sea posible sobre el ramal conducido de la correa y lo más cerca posible del punto en que la correa se separa de la polea. La colocación del tensor influye en sentido negativo en la duración de las correas.

Las correas trapeciales se emplean para transmisiones entre árboles paralelos; pero en caso de necesidad absoluta y con las debidas precauciones, que se estudiarán caso por caso, se pueden también usar semicruzadas, entre árboles de ángulo recto.

En las figuras II, 447-448 se reproducen dibujos de dos poleas para correas trapeciales.

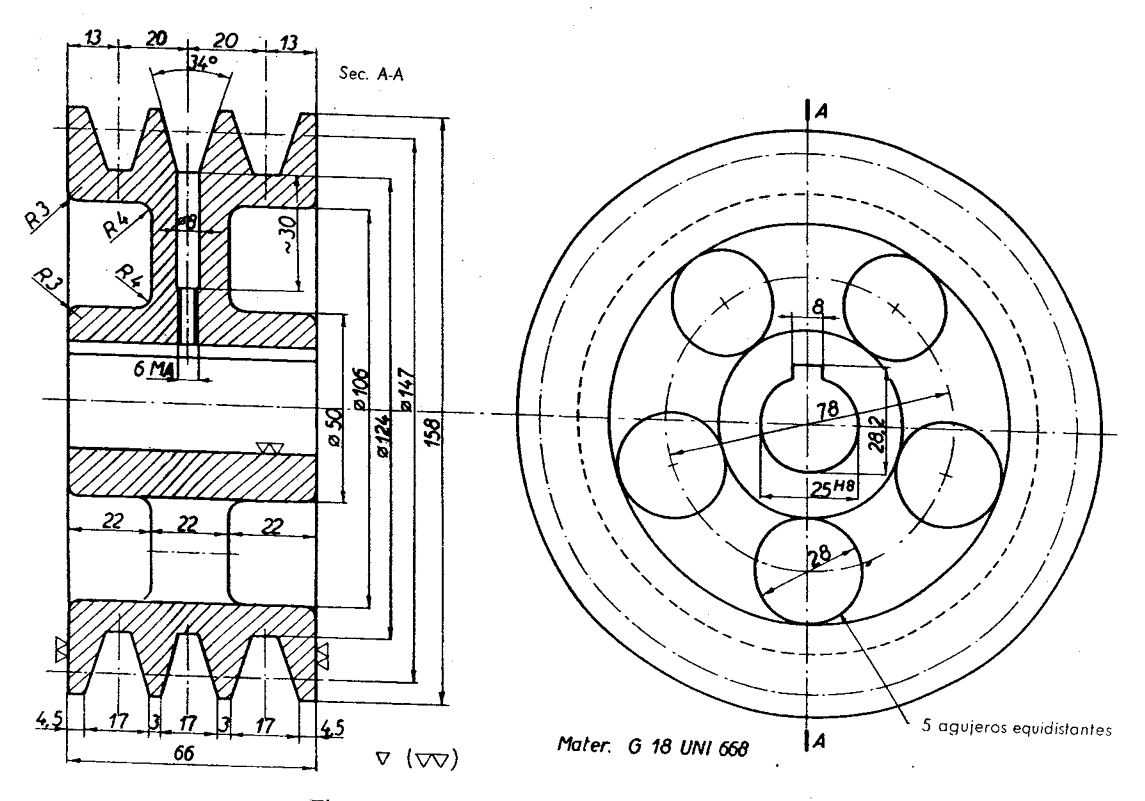


Fig. II, 447. *Dibujo de polea para correa trapecial.*

Recientemente (UNI 4233) se ha vuelto sobre las correas trapeciales, unificando las destinadas a transmisiones mecánicas ligeras (tabla 163 bis).

La **longitud exterior nominal de la correa** se ha definido como el desarrollo exterior de la correa bajo una tensión de trabajo correspondiente a la máxima que permite la correa. Esta longitud, en el supuesto de que la correa esté montada sobre dos poleas idénticas, con sus ejes sobre un plano horizontal (una de las cuales pueda moverse bajo la tensión establecida), es evidentemente igual al duplo de la distancia entre ejes, aumentado en la circunferencia exterior de una de las dos poleas.

En la tabla se indican: las tensiones de prueba y los diámetros de las poleas de prueba para las dos correas 5 × 3 y 6 × 4.

Se han unificado las longitudes exteriores nominales siguientes, de las cuales las indicadas en caracteres negros corresponden a la serie de números normales **R 20**; las de cursiva a la serie **R 40** y las de tipo fino a la serie **R 80.**

200; *212*; **224**; *236*; **250**; *265*; **280**; *300*; 307; **315**; 325; *335*; 345; **355**; 365; *375*; **400**; 412; *425*; 437; **450**; 462; *475*; 487; **500**; 515; *530*; 545; **560** (en mm).

En la misma tabla se cotejan las longitudes de las correas UNI con las de las normas DIN: resulta que, adoptando las correas DIN hay una diferencia en las distancias entre ejes variables, según el tipo de correas, entre + 3,25 y — 3,5 mm.

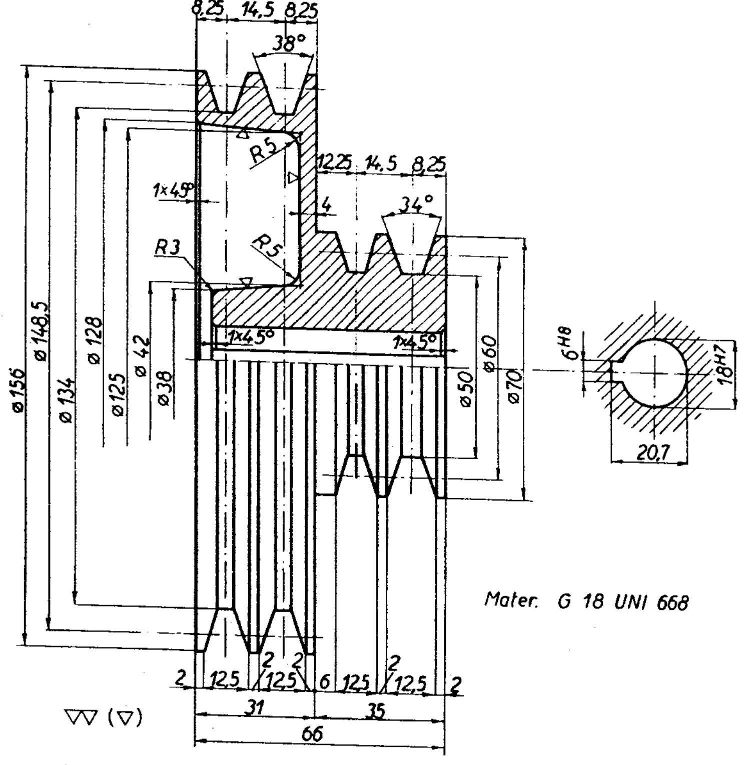
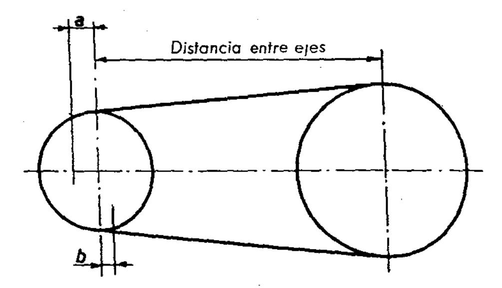


Fig. II, 448. *Sección de polea de dos diámetros para correa trapecial.*

Tabla 168

Variación mínima de la distancia entre ejes que se ha de prever para el montaje de las correas y para el corrimiento del tensor



Los corrimientos mínimos se indican en función del tipo de correa (referido al catálogo Pirelli) y a la sección **b × h.**

Tipo de correa	Corrimiento mínimo para el montaje de la correa							Corrimiento mínimo del tensor
	10 × 6	13 × 8	17 × 11	22 × 14	32 × 19	38 × 25	51 × 30	b mm
26 - 28	15	19	25	—	—	—	—	25
38 - 60	15	19	25	38	—	—	—	38
60 - 90	19	19	32	38	—	—	—	51
90 - 120	—	25	32	38	—	—	—	63
120 - 158	—	25	32	38	51	—	—	75
158 - 195	—	—	32	51	51	63	—	90
195 - 240	—	—	38	51	51	63	76	101
240 - 270	—	—	—	51	63	63	76	113
270 - 330	—	—	—	51	63	76	90	127
330 - 420	—	—	—	51	63	76	90	152
420 y más	—	—	—	—	76	90	100	1,5 % de la longitud de la correa

86. Transmisiones por cables

Se tratará someramente de estas transmisiones, considerando exclusivamente los cables metálicos, prescindiendo de las cuerdas y cables de fibras vegetales; su principal aplicación está en las instalaciones de elevación y transporte (grúas, montacargas, teleféricos, plantas de extracción en las minas, excavadoras, etcétera).

Hay una gran variedad de cables metálicos, muchos de ellos unificados. En la tabla **UNI 4432** y otras en curso de impresión, que sustituirán a las anteriores empleadas actualmente, se hallarán los tipos unificados; se indican las designaciones y las formaciones de varios tipos, indicándose también el sentido de arrollamiento necesario para asegurar la estabilidad de los cables, etcétera. En la tabla resumida 169 se da una breve noticia sobre la clasificación y sobre la designación de los cables, porque es lo único que puede interesar al dibujante.

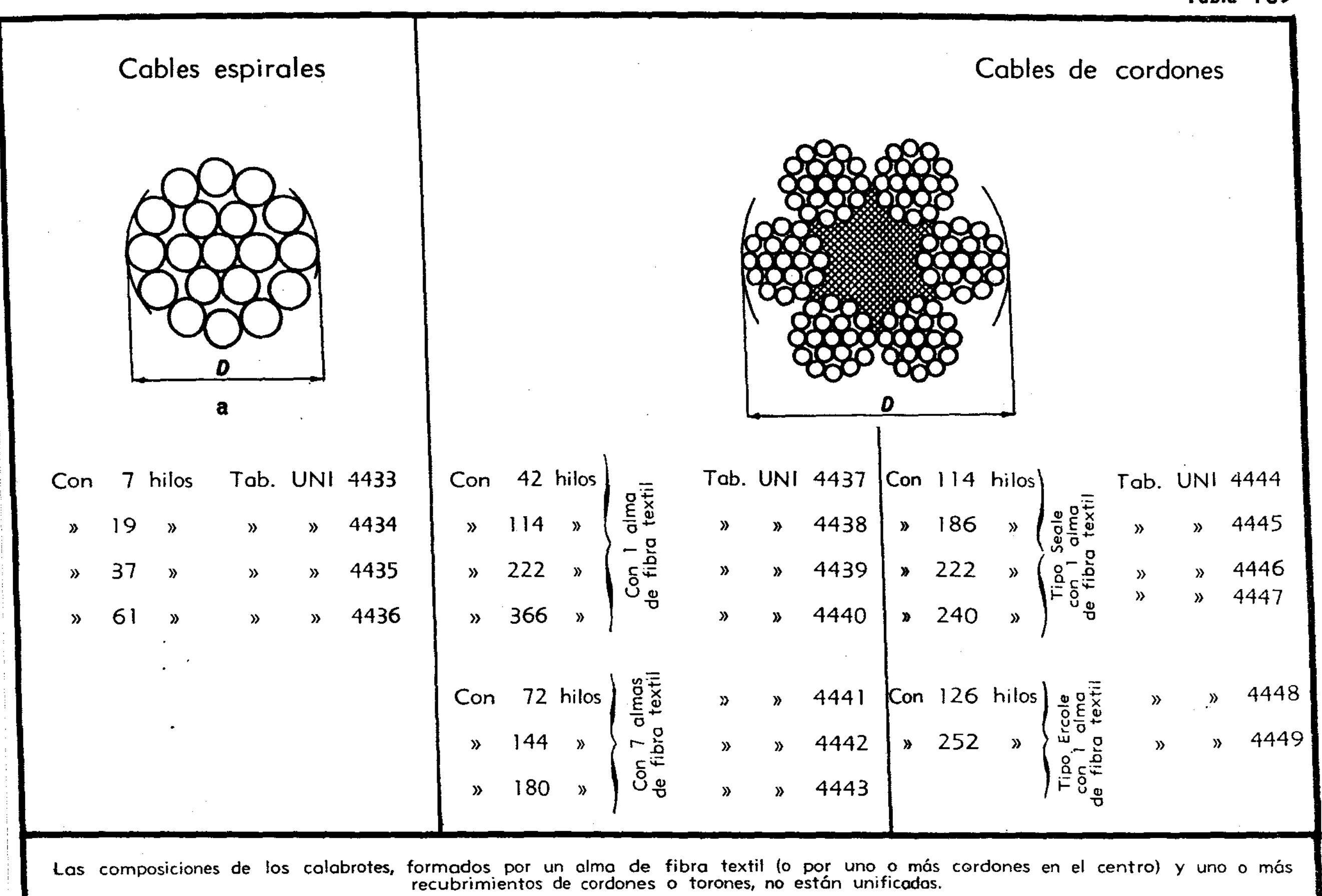
a) *Cables espirales.* Están constituidos por un alma de fibra textil y uno o más recubrimientos de hilos metálicos; o bien de uno o más hilos centrales y uno o más recubrimientos de hilos (fig. *a* de la tabla); los hilos están arrollados en espiral.

Están unificados los cables con 7 **(UNI 4433),** con 19 **(UNI 4434),** con 37 **(UNI 4435)** y con 61 **(UNI 4436)** hilos.

b) *De cordones o torones.* Cada cabo está compuesto de cierto número de hilos arrollados en espiral alrededor de uno o más hilos centrales o de un alma de fibra textil; los cables de cordones están constituidos por un alma de fibra textil (o de uno o más cordones centrales) y de uno o más recubrimientos de cordones arrollados en espiral (fig. *b* de la tabla).

Están unificados los cables con alma de fibra textil y con 42 hilos **(UNI 4437);** con 114 hilos **(UNI 4438);** con 222 hilos **(UNI 4439);** con 366 hilos **(UNI 4440);** y los de 7 almas de fibra textil y 72 hilos **(UNI 4441),** con 144 hilos **(UNI 4442);** y con 180 hilos **(UNI 4443).**

Tabla 169



Cables espirales		Cables de cordones					
a							
Con 7 hilos	Tab. UNI 4433	Con 42 hilos	Con 1 alma de fibra textil	Tab. UNI 4437	Con 114 hilos	Tipo Seale con 1 alma de fibra textil	Tab. UNI 4444
» 19 »	» » 4434	» 114 »		» » 4438	» 186 »		» » 4445
» 37 »	» » 4435	» 222 »		» » 4439	» 222 »		» » 4446
» 61 »	» » 4436	» 366 »		» » 4440	» 240 »		» » 4447
		Con 72 hilos	Con 7 almas de fibra textil	» » 4441	Con 126 hilos	Tipo Ercole con 1 alma de fibra textil	» » 4448
		» 144 »		» » 4442	» 252 »		» » 4449
		» 180 »		» » 4443			

Las composiciones de los calabrotes, formados por un alma de fibra textil (o por uno o más cordones en el centro) y uno o más recubrimientos de cordones o torones, no están unificadas.

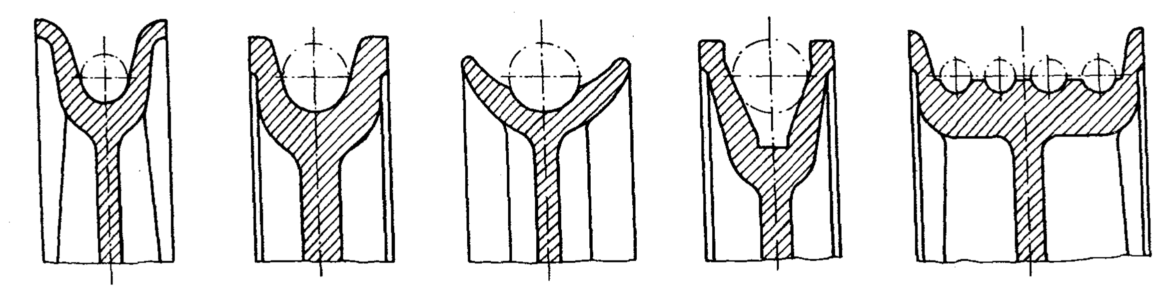


Fig. II, 449. *Formas de las ranuras de las poleas usadas para transmisiones teledinámicas.*

c) *Calabrotes.* Están constituidos de modo semejante a los anteriores, pero cada cordón está sustituido por un cable de cordones (fig. *c* de la tabla). No hay tablas de unificación.

Están en impresión las normas para cables de cordones, tipo Seale y tipo Ercole.

Los canales de las poleas para transmisiones teledinámicas tienen las formas que indica la figura II, 449, que representa los tipos más corrientes.

87. Transmisiones por cadena

Se sabe por la mecánica (véase la parte IV del texto) que las transmisiones por cadena pueden ser: *a) para transmisión de potencia; b) para transporte; c) para elevación.*

Todas las cadenas usadas en las transmisiones que se acaban de señalar han de ser *calibradas,* o sea, que todos los eslabones o mallas han de tener las mis-

mas dimensiones, para que puedan ocupar exactamente los huecos adecuados dispuestos sobre toda la periferia de las ruedas para alojar sólidamente los eslabones, o los dientes de la periferia de las ruedas dentadas para cadenas articuladas.

No hace falta recordar que para todas las transmisiones por cadena rige la misma relación cinemática fundamental de las transmisiones por engranajes, que establece que las velocidades de las ruedas conductora y conducida son inversamente proporcionales a los respectivos números de dientes.

Referente a las transmisiones por cadenas en aparatos elevadores, bastará indicar que las cadenas de eslabones cerrados pueden ser de eslabones normales (fig. II, 450) y de eslabones con travesaños (fig. II, 451); y que la forma de la sección del alojamiento de la cadena en la periferia de la polea es la indicada en la figura II, 452. Pero este perfil de la garganta de las poleas puede tener formas distintas.

En las transmisiones de aparatos elevadores para pequeñas distancias dan resultados excelentes las cadenas de placas articuladas múltiples (fig. II, 453), conocidas generalmente con el nombre de cadena *Fleyer*.

Tienen mayor aplicación e importancia en la técnica las transmisiones de potencia con cadenas articuladas, muy empleadas también en máquinas herramientas y, generalmente en todos los casos en que no convienen las ruedas dentadas, bien por necesitar un número excesivo de ruedas intermedias, debido a la distancia de los ejes, bien por el elevado peso de la transmisión o por ocupar demasiado espacio. Lo que caracteriza las transmisiones por cadena es la posibilidad de transmitir con buen rendimiento entre árboles bastante separados, su ligereza y el poco espacio que ocupan; y generalmente resultan más económicas que las transmisiones por engranajes, dado el menor coste de las ruedas dentadas para cadenas comparado con el de las ruedas dentadas con módulo.

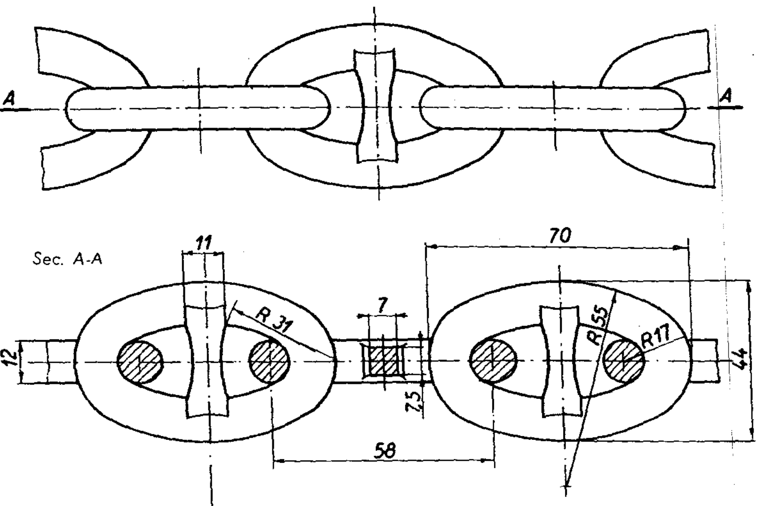


Fig. II, 451. *Cadena de eslabones calibrados con travesaño de rigidez.*

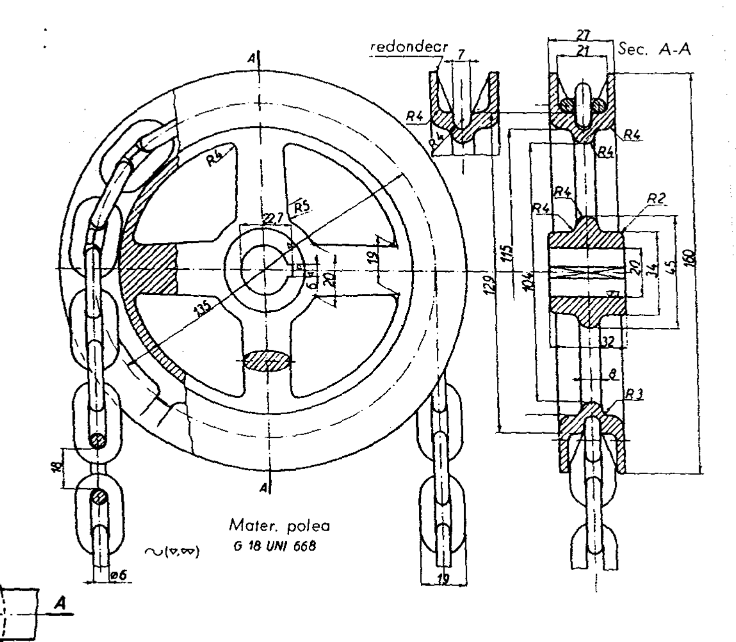


Fig. II, 452. *Rueda para cadena de eslabones calibrados.*

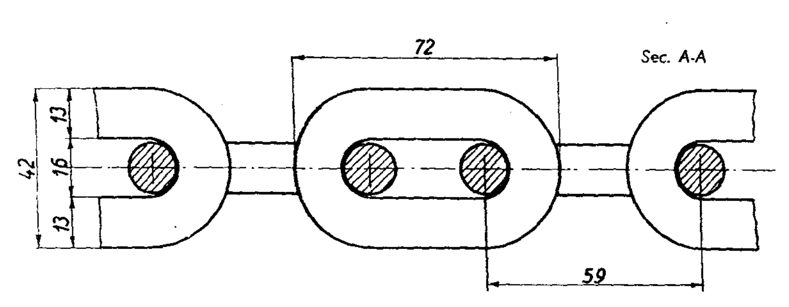


Fig. II, 450. *Cadena de eslabones calibrados.*

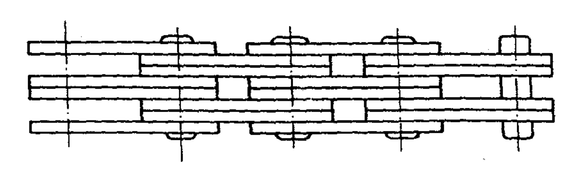


Fig. II, 453. *Cadena Fleyer.*

En el resumen de mecánica aplicada se verá el origen de las cadenas para transmisiones y sus sucesivos perfeccionamientos, pasando de la primitiva cadena Galle, a la Zobel y finalmente a la Renold (fig. II, 454, *a*, *b*, *c*).

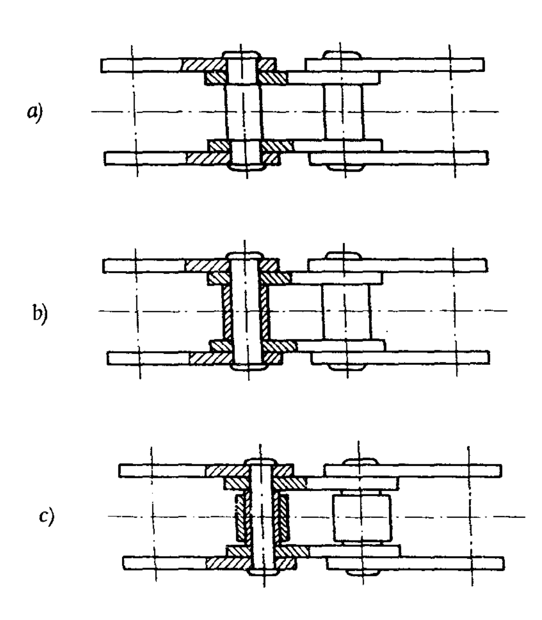


Fig. II, 454. *Cadenas articuladas:* a) *Galle;* b) *Zobel;* c) *Renold.*

Las cadenas tipo Galle sólo son apropiadas para pequeñas velocidades lineales, hasta un máximo de 0,5 m/seg; las cadenas silenciosas Renold Morse van cayendo en desuso, por lo menos en buena parte de la industria europea, por no tener ventajas sustanciales comparadas con las cadenas de varios tipos de rodillos, bien fabricadas, que son indudablemente las más importantes, pues reúnen todas las cualidades deseables de ligereza, seguridad de funcionamiento y admisión de grandes velocidades angulares. No obstante, indicamos una aplicación de cadena silenciosa (fig. II, 456) y pasamos a continuación a tratar, con bastante extensión, de las cadenas de rodillos.

Enunciaremos, en primer lugar, los siguientes tipos principales:



Fig. II, 455. *Cadena silenciosa Renold-Morse.*

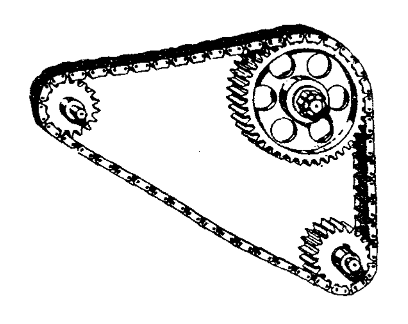


Fig. II, 456. *Aplicación de una cadena silenciosa.*

a) **Serie UNI,** cadenas unificadas en las tablas (experimentales) siguientes:

UNI 2578 (cadenas de una hilera de rodillos) (fig. II, 457 *a*) (tabla 170);

UNI 2579 (cadenas de dos hileras de rodillos) (fig. II, 457 *b*) (tabla 171);

UNI 2580 (cadenas de tres hileras de rodillos) (fig. II, 457 *c*) (tabla 172);

UNI 2520 (cadenas de rodillos para ruedas de motocicletas, triciclos y motocarros);

UNI 3884 (cadenas de rodillos para empleo en aeronáutica, tipo de una hilera de rodillos).

b) **Serie A.S.A.** (American Standard Association) *de eslabones rectos* con pasadores remachados y desmontables (figura de la tabla 173).

c) **Serie A.S.A.** *de eslabones de codo* (figura de tabla 174).

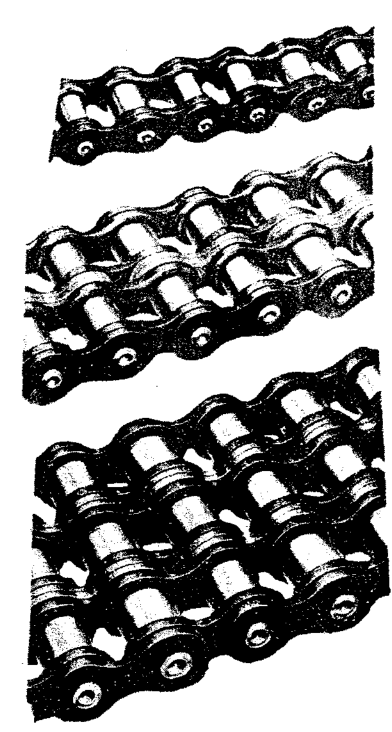
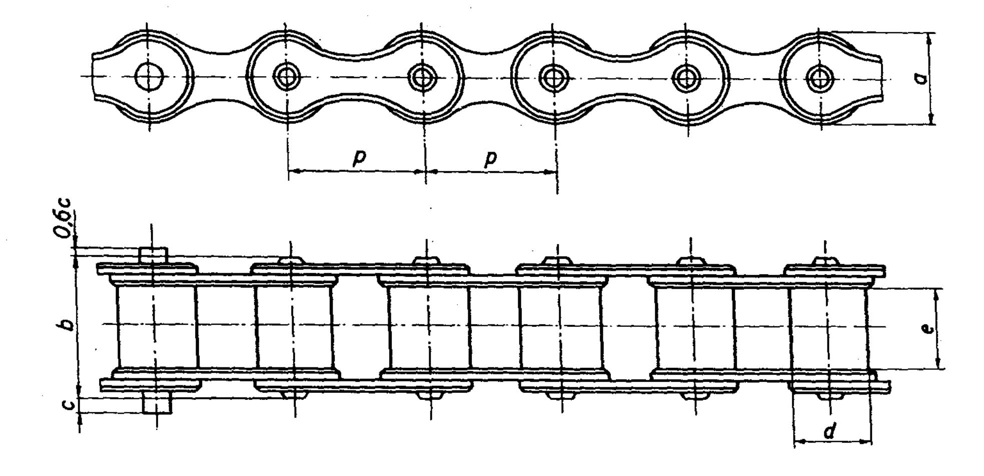


Fig. II, 457. a) *Cadena de una hilera de rodillos* UNI 2578. b) *Cadena de dos hileras de rodillos* UNI 2579. c) *Cadena de tres hileras de rodillos* UNI 2580.

Cadenas de rodillos. Tipo de una hilera de rodillos

(De la tabla UNI 2578)



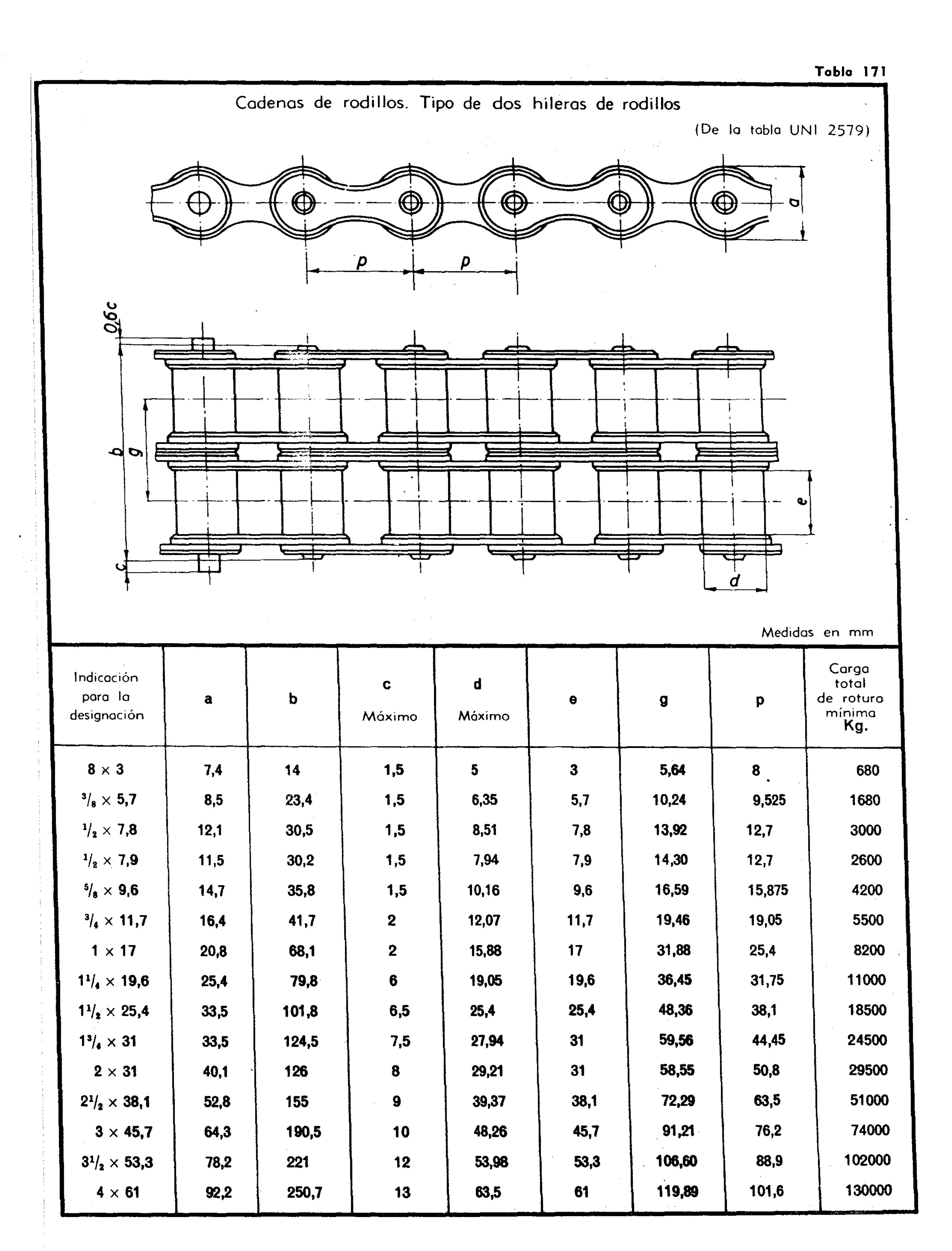
Medidas en mm

Indicación para la designación	a	b	c Máximo	d Máximo	e	f	Carga total de rotura mínima kg
8 × 3	7,4	8,1	1,5	5	3	8	360
3/8 × 3,9	8,5	12,2	1,5	6,35	3,9	9,525	860
3/8 × 5,7	8,5	13	1,5	6,35	5,7	9,525	860
½ × 3,2	9,8	9,5	1,5	7,75	3,2	12,7	820
½ × 4,9	10,2	11,7	1,5	7,75	4,9	12,7	820
½ × 5,2	12,1	14	1,5	8,51	5,2	12,7	1600
½ × 7,8	12,1	16,5	1,5	8,51	7,8	12,7	1600
½ × 7,9	11,5	15,9	1,5	7,94	7,9	12,7	1300
5/8 × 6,5	14,7	16	1,5	10,16	6,5	15,875	2200
5/8 × 9,6	14,7	19	1,5	10,16	9,6	15,875	2200
3/4 × 11,7	16, 4	22,1	2	12,07	11,7	19,015	2800
1 × 12,7	20,8	31,8	2	15,88	12,7	25,4	4300
1 × 17	20,8	36,1	2	15,88	17	25,4	4300
1 1/4 × 19,6	25,4	43,2	6	19,05	19,6	31,75	5600
1 ½ × 25,4	33,5	53,3	6,5	25,4	25,4	38,1	10000
1 3/4 × 31	33,5	64,8	7,5	27,94	31	44,45	12700
2 × 31	40,1	67,3	8	29,21	31	50,8	15400
2 ½ × 38,1	52,8	82,6	9	39,37	38,1	63,5	26700
3 × 45,7	64,3	99,1	10	48,26	45,7	76,2	39500
3 ½ × 53,3	78,2	114,3	12	53,98	53,3	88,9	52000
4 × 61	92,2	130,8	13	63,5	61	101,6	68000

Tabla 171

Cadenas de rodillos. Tipo de dos hileras de rodillos

(De la tabla UNI 2579)



Medidas en mm

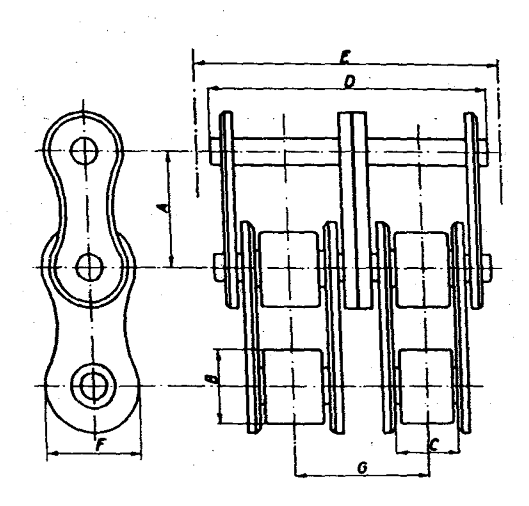
Indicación para la designación	a	b	c Máximo	d Máximo	e	g	p	Carga total de rotura mínima Kg.
8 × 3	7,4	14	1,5	5	3	5,64	8	680
3/8 × 5,7	8,5	23,4	1,5	6,35	5,7	10,24	9,525	1680
1/2 × 7,8	12,1	30,5	1,5	8,51	7,8	13,92	12,7	3000
1/2 × 7,9	11,5	30,2	1,5	7,94	7,9	14,30	12,7	2600
5/8 × 9,6	14,7	35,8	1,5	10,16	9,6	16,59	15,875	4200
3/4 × 11,7	16,4	41,7	2	12,07	11,7	19,46	19,05	5500
1 × 17	20,8	68,1	2	15,88	17	31,88	25,4	8200
1 1/4 × 19,6	25,4	79,8	6	19,05	19,6	36,45	31,75	11000
1 1/2 × 25,4	33,5	101,8	6,5	25,4	25,4	48,36	38,1	18500
1 3/4 × 31	33,5	124,5	7,5	27,94	31	59,56	44,45	24500
2 × 31	40,1	126	8	29,21	31	58,55	50,8	29500
2 1/2 × 38,1	52,8	155	9	39,37	38,1	72,29	63,5	51000
3 × 45,7	64,3	190,5	10	48,26	45,7	91,21	76,2	74000
3 1/2 × 53,3	78,2	221	12	53,98	53,3	106,60	88,9	102000
4 × 61	92,2	250,7	13	63,5	61	119,89	101,6	130000

Cadenas de rodillos. Tipo de tres hileras de rodillos

(De la tabla UNI 2580)

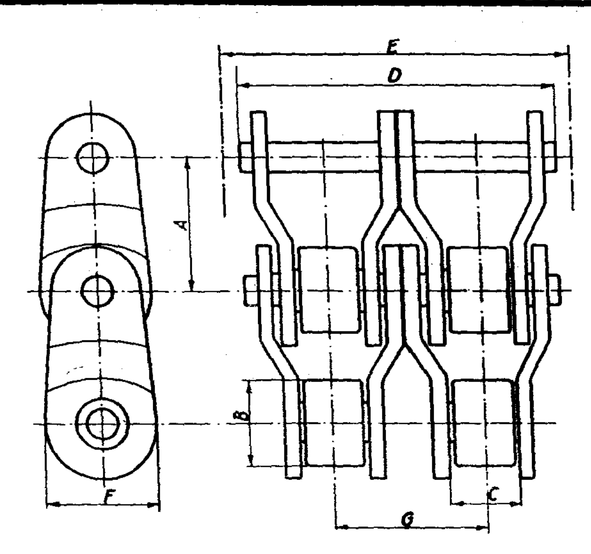
Medidas en mm

Indicación para la designación	a	b	c Máximo	d Máximo	e	g	p	Carga total de rotura mínima kg
8 × 3	7,4	19,6	1,5	5	3	5,64	8	1000
3/8 × 5,7	8,5	33,4	1,5	6,35	5,7	10,24	9,525	2500
½ × 7,8	12,1	44,4	1,5	8,51	7,8	13,92	12,7	4500
½ × 7,9	11,5	44,6	1,5	7,94	7,9	14,30	12,7	3900
5/8 × 9,6	14,7	52,3	1,5	10,16	9,6	16,59	15,875	6100
3/4 × 11,7	16,4	61,2	2	12,07	11,7	19,46	19,05	8200
1 × 17	20,8	99,8	2	15,88	17	31,88	25,4	12000
1 ¼ × 19,6	25,4	116,1	6	19,05	19,6	36,45	31,75	16500
1 ½ × 25,4	33,5	150,1	6,5	25,4	25,4	48,36	38,1	27200
1 3/4 × 31	33,5	183,9	7,5	27,94	31	59,56	44,45	36200
2 × 31	40,1	184,4	8	29,21	31	58,55	50,8	43500
2 ½ × 38,1	52,8	227,3	9	39,37	38,1	72,29	63,5	75500
3 × 45,7	64,3	281,7	10	48,26	45,7	91,21	76,2	108000



Cadenas de rodillos. Tipos de eslabones rectos

Tipo	A mm	B mm	C mm	D mm Con pasadores remachados	D mm De eslabones desmontables	E mm	F mm	G mm	Superficie de trabajo mm²	Carga de rotura Kg
Sencilla Doble Triple Cuádruple	9,53	5,08	4,7	11,9 22,0 32,1 42,1	13,4 23,5 33,6 43,7	14,8 24,9 35,1 45,2	8,8	— 10,16 10,16 10,16	26 53 79 105	940 1880 2820 3760
Sencilla	12,70	7,77	6,3	14,3	1,57	17,0	9,8	—	37	1400
Sencilla Doble Triple Cuádruple	12,70	7,93	7,9	16,4 30,8 45,2 59,5	17,7 32,1 46,5 60,9	19,0 33,4 47,8 62,2	11,5	— 14,30 14,30 14,30	43 87 130 174	1600 3200 4800 6400
Sencilla Doble Triple Cuádruple	15,88	10,16	9,5	20,3 38,3 56,3 74,3	21,9 39,9 57,9 75,9	23,5 41,5 59,4 77,4	15,1	— 17,95 17,95 17,55	74 148 222 296	2600 5200 7800 10400
Sencilla Doble Triple Cuádruple	19,05	11,91	12,7	25,1 47,7 70,4 93,0	27,0 49,6 72,3 94,9	28,8 51,5 74,1 96,8	17,3	— 22,65 22,65 22,65	104 208 312 416	3600 7200 10800 14400
Sencilla Doble Triple Cuádruple	25,40	15,88	15,9	32,5 62,2 91,6 121,1	35,6 65,2 94,6 124,1	38,7 68,2 97,6 127,1	23,0	— 29,46 29,46 29,46	177 354 531 708	6580 13160 19740 26320
Sencilla Doble Triple Cuádruple	31,75	19,05	19,0	39,7 75,5 111,3 147,2	43,0 78,8 114,6 150,5	46,3 82,1 117,9 153,8	28,7	— 35,83 35,83 35,83	258 516 774 1032	10890 21780 32670 43560
Sencilla Doble Triple Cuádruple	38,10	22,23	25,4	49,7 95,3 140,9 186,5	53,4 99,0 144,6 190,2	57,1 102,7 148,3 193,9	34,4	— 45,61 45,61 45,61	390 780 1170 1560	15420 30840 46260 61680
Sencilla Doble Triple Cuádruple	44,45	25,40	25,4	53,6 102,6 151,6 200,6	57,8 106,8 155,8 204,8	62,0 111,0 160,0 209,0	41,9	— 48,99 48,99 48,99	468 936 1404 1872	20870 41740 62610 83480
Sencilla Doble Triple Cuádruple	50,80	28,58	31,7	63,5 122,0 180,4 238,9	68,2 126,7 185,1 243,5	72,8 131,3 189,7 248,1	48,3	— 58,44 58,44 58,44	639 1278 1917 2556	26310 52620 78930 105240
Sencilla Doble Triple Cuádruple	63,50	39,67	38,1	77,9 149,0 220,1 291,3	86,0 156,6 227,7 298,9	94,0 164,1 235,2 306,4	57,8	— 71,12 71,12 71,12	1084 2168 3252 4336	43090 86180 129270 172360



Cadenas de rodillos. Tipo de eslabones de codo

Tipo	A mm	B mm	C mm	D mm: Con pasadores remachados	D mm: De eslabones desmontables	E mm	F mm	G mm	Superficie de trabajo mm²	Carga de rotura kg
Sencilla Doble Triple Cuádruple	9,53	5,08	4,7	11,9 22,0 32,1 42,1	15,8 24,4 34,6 44,7	17,0 25,6 35,8 45,9	8,8	— 10,16 10,16 10,16	26 53 79 105	940 1880 2820 3760
Sencilla	12,70	7,77	6,3	14,3	18,5	19,8	9,8	—	37	1400
Sencilla Doble Triple Cuádruple	12,70	7,93	7,9	16,4 30,8 45,2 59,5	20,3 34,7 49,1 63,4	21,6 35,6 50,4 64,8	11,5	— 14,30 14,30 14,30	43 87 130 174	1600 3200 4800 6400
Sencilla Doble Triple Cuádruple	15,88	10,16	9,5	20,3 38,3 56,3 74,3	25,3 43,3 61,3 79,3	26,9 44,9 62,9 80,9	15,1	— 17,95 17,95 17,95	74 148 222 296	2600 5200 7800 10400
Sencilla Doble Triple Cuádruple	19,05	11,91	12,7	25,1 47,7 70,4 93,0	30,0 52,7 75,3 98,0	31,4 53,9 76,7 99,4	17,3	— 22,65 22,65 22,65	104 208 312 416	3600 7200 10800 14400
Sencilla Doble Triple Cuádruple	25,40	15,88	15,9	32,5 62,2 91,6 121,1	38,0 67,5 96,9 126,3	38,9 68,4 97,8 127,3	23,0	— 29,46 29,46 29,46	177 354 531 708	6580 13160 19740 26320
Sencilla Doble Triple Cuádruple	31,75	19,05	19,0	39,7 75,5 111,3 147,2	45,8 81,7 117,5 153,3	47,2 83,0 118,8 154,7	28,7	— 35,83 35,83 35,83	258 516 774 1032	10890 21780 32670 43560
Sencilla Doble Triple Cuádruple	38,10	22,23	25,4	49,7 95,3 140,9 186,5	57,2 102,8 148,4 194,4	58,5 104,1 149,7 195,3	34,4	— 45,61 45,61 45,61	390 780 1170 1560	15420 30840 46260 61680
Sencilla Doble Triple Cuádruple	44,45	25,40	25,4	53,6 102,6 151,6 200,6	60,8 109,8 158,8 207,8	62,4 111,4 160,4 209,4	41,9	— 48,99 48,99 48,99	468 936 1404 1872	20870 41740 62610 83480
Sencilla Doble Triple Cuádruple	50,80	28,58	31,7	63,5 122,0 180,4 238,9	72,0 130,4 188,9 247,3	74,0 132,4 190,9 249,3	48,3	— 58,44 58,44 58,44	639 1278 1917 2556	26310 52620 78930 105240
Sencilla Doble Triple Cuádruple	63,50	39,67	38,1	77,9 149,0 220,1 291,3	86,9 158,0 229,1 300,2	90,1 161,3 232,4 303,5	57,8	— 71,12 71,12 71,12	1084 2168 3252 4336	43090 86180 129270 172360

Sin embargo ha demostrado la experiencia que el cálculo efectuado según lo que se ha explicado no da generalmente resultados plenamente satisfactorios, especialmente desde el punto de vista de la duración de las cadenas y las ruedas correspondientes. Conviene, en efecto, tener presente que estas cadenas deben considerarse como una serie de cojinetes formados por un elemento interior (pasador) que se articula en su asiento (casquillo); tales cojinetes han de resistir el desgaste bajo carga, a que están sometidos al comienzo del arrollamiento de la cadena sobre las ruedas correspondientes. Resulta evidente de esta consideración la importancia de la calidad del material y de la extensión de la superficie de contacto: únicamente en el caso de que ambas puedan conservarse prácticamente invariables, la duración de la cadena y sus correspondientes ruedas será la que se espera de los gastos de compra y de conservación del equipo.

No corresponde al dibujante efectuar el cálculo de la resistencia de una cadena, desde el punto de vista mecánico; además, las principales casas fabricantes de cadenas indican en sus notas de precios y catálogos la potencia que cada tipo de cadena puede transmitir. Importa también tener presente que cada eslabón de una cadena está sometido principalmente a un esfuerzo de tracción, que depende de la fuerza tangencial que transmite. Este esfuerzo, sin embargo, se convierte en un esfuerzo cortante, porque los pasadores de cada eslabón están sujetos a un esfuerzo cortante por parte de las plaquitas; y a su vez las plaquitas o mejor dicho sus extremos, están sujetos a un esfuerzo cortante debido a los pasadores.

Se añade a estos esfuerzos la acción de la fuerza centrífuga, que actúa sobre cada eslabón cuando la cadena se arrolla sobre las ruedas dentadas; su valor, como es sabido, es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad tangencial de la cadena e inversamente proporcional al radio de curvatura; por lo tanto, alcanza el máximo valor al entrar en el piñón; en consecuencia, se ha de tener en cuenta este radio al calcular las fuerzas que actúan sobre las cadenas, cuyos cálculos han de basarse en las dos fuerzas consideradas.

No es pues suficiente someterla a un esfuerzo de tracción proporcional únicamente a la carga de rotura, sino que es necesario que la presión unitaria sobre las superficies articuladas no pase de cierto límite, que, como resultado de la experiencia, aconsejan los fabricantes, a título indicativo, que no supere los 150 kilogramos/cm^2.

El continuo perfeccionamiento que los principales fabricantes de cadenas se preocupan de introducir en sus productos, como consecuencia del progreso de las investigaciones sobre las características más convenientes de los materiales, y del estudio, para cada aplicación especial, del adecuado diseño de cadena, hace necesario dirigirse a los especialistas de este ramo, siempre que se presente un caso de aplicación fuera de los corrientes, para no equivocarse en la selección del tipo de cadena más conveniente.

Para las aplicaciones más corrientes, las firmas de mayor prestigio en este campo proporcionan las tablas puestas al día, con indicaciones suficientes para orientar a los interesados en la elección.

Después de exponer estas consideraciones, vamos a dar en las páginas siguientes algunos datos técnicos, que pueden tener gran interés para el dibujante; están tomados en su mayor parte del catálogo general de la Soc. G. Ruini e Figli, de Milán.

En primer lugar presentamos algunas tablas con los datos fundamentales de los tipos más corrientes de cadenas Regina, tanto de los tipos UNI, como A.S.A. (tablas 170 a 174).

Para poder hacer la selección correcta del tipo de cadena que se ha de emplear, se ha copiado del catálogo citado una tabla de selección, válida para transmisiones por cadena hasta una potencia de 140 CV. Hay otras series de cadenas apropiadas para transmitir potencias hasta 900 CV, mas, para las aplicaciones más corrientes que pueden pedirse al dibujante, bastará la primera serie. No debe olvidarse en realidad que las potencias indicadas en la tabla corresponden a transmisiones con una sola cadena y que aumentan proporcionalmente al número de cadenas trabajando en paralelo, que pueden llegar a 4.

Para emplear correctamente la tabla de selección, ha de tenerse presente que las potencias indicadas corresponden a las potencias efectivas sólo en el caso de que haya determinada regularidad de funcionamiento, lo cual se consigue cuando la fuerza motriz procede de un motor eléctrico, de un motor de explosión o Diesel de 6 cilindros por lo menos y cuando además las máquinas que accionan tienen una marcha regular, sin variaciones bruscas, como alternadores, bombas, compresores rotativos, etcétera.

Pero en el caso de que la marcha sea irregular, será preciso escoger cadenas para potencias superiores a las efectivas, para lo cual se aumentará la potencia efectiva multiplicándola por un *coeficiente de selección* (es decir, de aumento) cuyos valores se dan a continuación:

Agitadores	1,5
Cabrestantes	2
Cepilladoras	2
Cizallas	1,5
Generadores para soldadura eléctrica	2
Grúas	1,5
Laminadores	2
Máquinas herramientas	1,5
Mezcladoras	1,5
Muelas	1,5
Prensas	2
Telares para tejidos	1,5
Ventiladores con conductos forzados	2
Zarandas	1,5

88. Lubricación de las cadenas de transmisión

Para que la tabla de selección dé resultados satisfactorios es necesario que esté bien resuelto el problema de la lubricación de las cadenas.

El modo más eficaz de efectuar dicha lubricación consiste en enviar un chorro de aceite sobre el lado interior de la cadena (fig. II, 458), de manera que atraviese los eslabones por la fuerza centrífuga, se interponga entre los pasadores y los casquillos de cada eslabón por capilaridad y forme por consiguiente una película de lubricante en las articulaciones. Se puede también dirigir el chorro de aceite al interior de la rueda dentada (fig. II, 459), que en tal caso ha de tener unos pequeños agujeros para el paso del aceite a la cadena. Este sistema es aplicable hasta una potencia máxima de 50 CV y para velocidades inferiores a 5 m por segundo. Si para el mismo límite de potencia la velocidad alcanza los 10 m por segundo, se lubrica por baño de aceite (fig. II, 460).

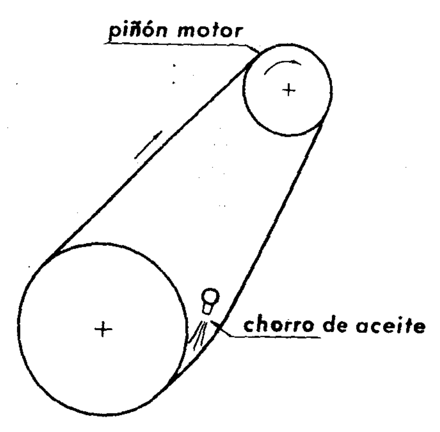


Fig. II, 458. *Esquema de lubricación de la cadena por chorro de aceite sobre el interior de la cadena.*

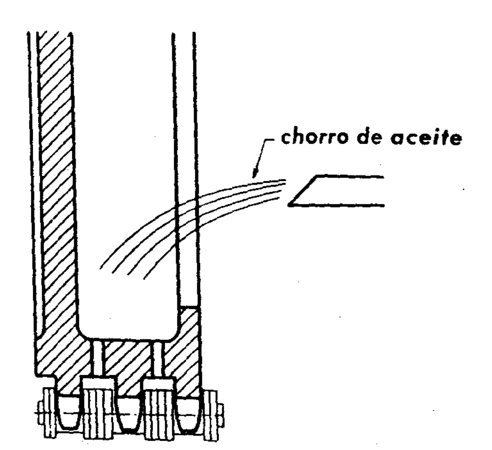


Fig. II, 459. *Esquema de lubricación de la cadena por chorro de aceite en el interior de la rueda.*

El sistema de circulación forzada por bomba es, como se ha dicho, el más eficaz. Para una cadena sencilla se ha de calcular una bomba para 10 litros/hora, por cada pulgada de paso; para cadenas dobles y triples y para pasos mayores se ha de aumentar dicha capacidad proporcionalmente.

Cuando no sea posible la lubricación continua se puede recurrir a la lubricación con grasa grafitada; la cadena se sumerge en un recipiente con grasa grafitada calentada a cerca de 80° C, donde se deja hasta enfriamiento completo.

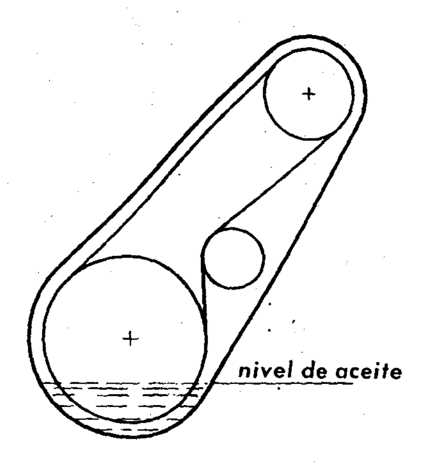


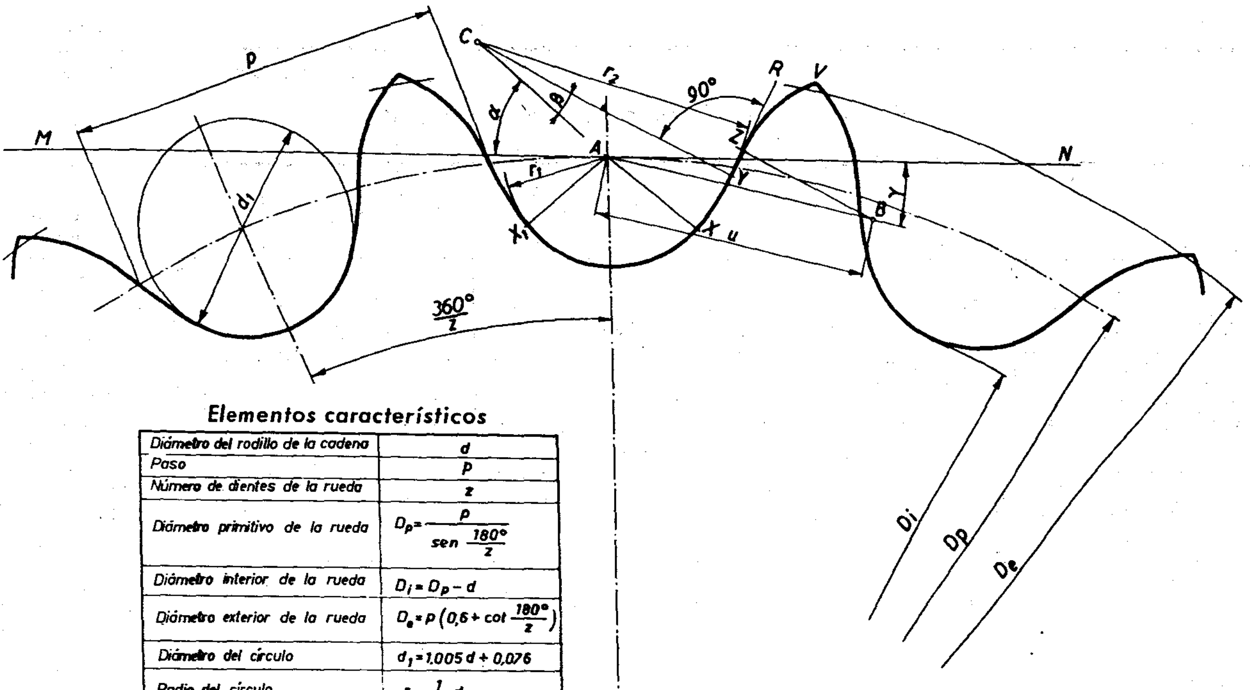
Fig. II, 460. *Esquema de lubricación de la cadena por baño de aceite.*

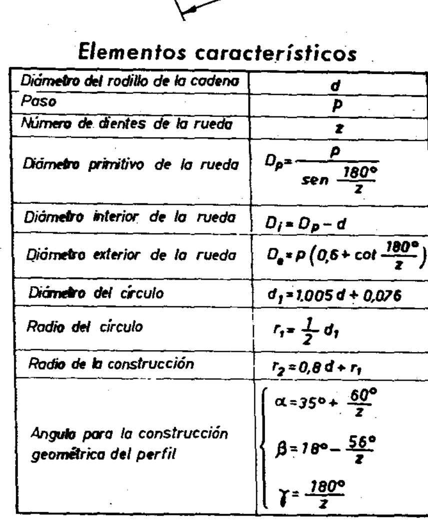
89. Trazado del perfil de una rueda para cadenas y cálculos correspondientes

Pasando ahora a tratar de las ruedas dentadas para cadenas de rodillos, indicaremos que hay dos diferentes tipos de perfiles longitudinales de dientes, uno normalizado por la unificación italiana **(UNI 3750)**, que concuerda prácticamente con la unificación inglesa, y otro conforme a la unificación americana. Es de notar que al principio se proyectó **(UNI 0184)** por la unificación italiana adaptarse a las normas americanas; pero finalmente, en cambio, se adoptó como se ha dicho el sistema de normas inglesas. Un extracto de la tabla **UNI 3750** está contenido en la tabla 175.

En las figuras II, 461-462 se indica en vista longitudinal y en vista transversal, el perfil unificado de las ruedas dentadas para cadenas de rodillos, según la citada tabla **UNI 3750**. En la pequeña tabla de la figura II, 461 y su leyenda se indican los elementos necesarios para el cálculo de los dientes y modo de trazarlos.

En la tabla 176 se indican además los elementos para el trazado de los tres perfiles correspondientes a las normas americanas, respectivamente para ruedas para cadenas de 9 a 12 dientes; de 13 a 19 dientes; de 20 o más dientes. Estos dientes se cortan generalmente con fresas especiales.





Elementos característicos

Diámetro del rodillo de la cadena	d
Paso	p
Número de dientes de la rueda	z
Diámetro primitivo de la rueda	$D_p = \frac{p}{\text{sen}\,\frac{180°}{z}}$
Diámetro interior de la rueda	$D_i = D_p - d$
Diámetro exterior de la rueda	$D_e = p\left(0{,}6 + \cot\frac{180°}{z}\right)$
Diámetro del círculo	$d_1 = 1{,}005\,d + 0{,}076$
Radio del círculo	$r_1 = \frac{1}{2}\,d_1$
Radio de la construcción	$r_2 = 0{,}8\,d + r_1$
Angulo para la construcción geométrica del perfil	$\alpha = 35° + \frac{60°}{z}$; $\beta = 18° - \frac{56°}{z}$; $\gamma = \frac{180°}{z}$

Fig. II, 461. *Trazado del perfil longitudinal de una rueda dentada para cadena de rodillos. Por un punto* A *de la circunferencia primitiva de la rueda se traza el radio* AO *y la tangente* MN *correspondiente. Haciendo centro en* A, *se traza con radio* r_1 *un arco* XX_1 (curva de apoyo); *se traza el segmento* XA, *que forme con* MN *el ángulo* α, *y sobre su prolongación se señala el punto* C *que diste de* X *la magnitud* r_2. *Con centro en* C *y radio* r_2 *se traza el arco* $XY\gamma$ (curva de trabajo) *correspondiente al ángulo* β. *Se traza luego* YR *perpendicular a* CY, *y* AB *formando con* MN *el ángulo* γ. *Tomando sobre* AB *un punto* B, *tal que se verifique* AB = u, *se traza desde dicho punto la* BZ *paralela a la* CY, *hasta cortar en* Z *la* YR. *Con centro en* B *y radio* BZ *se traza el arco* ZV (curva exterior). *Se repite la construcción para la otra mitad de la ranura, con lo que se determina el vértice* V. *Queda así dibujada completamente la ranura; para las otras ranuras puede repetirse la construcción, si es necesario. Los valores de* α, β, γ *se calculan por las fórmulas de la pequeña tabla anexa a esta figura; los demás elementos están contenidos en la tabla 175.*

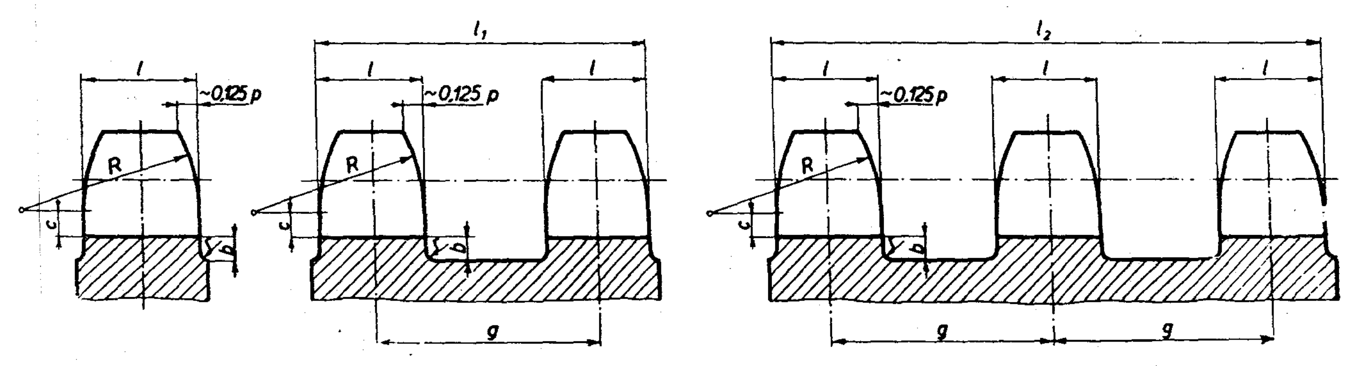


Fig. II, 462. *Perfil* **UNI 3750** *de las ruedas dentadas para cadenas:* a) *de una hilera de dientes;* b) *de dos hileras de dientes;* c) *de tres hileras de dientes.*

Tabla 175

(De la pequeña tabla UNI 3750)

Tabla de las medidas de ruedas para cadenas

Indicación para la designación		p	b	c	g	l	l_1	l_2	R	r	r_1	r_2	ul	d	Referencia a las designaciones de las cadenas
A	8 × 2,6				—		—	—							8 × 3 UNI 2578
B	8 × 2,6	8	2,40	1,27	5,64	2,6	8,24	—	8,5	0,76	2,55	6,55	6,20	5	8 × 3 UNI 2579
C	8 × 2,6						—	13,88							8 × 3 UNI 2588
A	3/8 × 3,5	9,525	2,30	1,52	—	3,5	—	—	10	0,76	3,23	8,31	7,87	6,35	3/8 × 3,9 UNI 2578
A	3/8 × 5,2				—		—	—							3/8 × 5,7 UNI 2579
B	3/8 × 5,2	9,525	2,30	1,52	10,24	5,2	15,44	—	10	0,76	3,23	8,31	7,87	6,35	3/8 × 5,7 UNI 2578
C	3/8 × 5,2						—	25,68							3/8 × 5,7 UNI 2580
A	½ × 2,8	12,7	2,45	2,92	—	2,8	—	—	13,5	0,76	3,93	10,13	9,61	7,75	1/2 × 3,2 UNI 2578
A	½ × 4,4	12,7	2,45	2,92	—	4,4	—	—	13,5	0,76	3,93	10,13	9,61	7,75	1/2 × 4,9 UNI 2578
A	½ × 4,7	12,7	3,00	2,03	—	4,7	—	—	13,5	0,76	4,31	11,12	10,55	8,51	1/2 × 5,2 UNI 2578
A	½ × 7,1				—		—	—							1/2 × 7,8 UNI 2578
B	½ × 7,1	12,7	3,00	2,03	13,92	7,1	21,02	—	13,5	0,76	4,31	11,12	10,55	8,51	1/2 × 7,8 UNI 2579
C	½ × 7,1						—	34,94							1/2 × 7,8 UNI 2580
A	½ × 7,2				—		—	—							1/2 × 7,9 UNI 2578
B	½ × 7,2	12,7	3,00	2,03	14,30	7,5	21,5	—	13,5	0,76	4,03	10,38	9,84	7,94	1/2 × 7,9 UNI 2579
C	½ × 7,2						—	35,80							1/2 × 7,9 UNI 2580
A	5/8 × 5,9	15,875	3,50	2,54	—	5,9	—	—	16,8	0,76	5,14	13,27	12,60	10,16	5/8 × 6,5 UNI 2578
A	5/8 × 8,9				—		—	—							5/8 × 9,6 UNI 2578
B	5/8 × 8,9	15,875	3,50	2,54	16,59	8,9	25,49	—	16,8	0,76	5,14	13,27	12,60	10,16	5/8 × 9,6 UNI 2579
C	5/8 × 8,9						—	42,08							5/8 × 9,6 UNI 2580
A	3/4 × 10,8				—		—	—							3/4 × 11,7 UNI 2578
B	3/4 × 10,8	19, 05	4,00	3,05	19,46	10,8	30,26	—	20,2	1,27	6,10	15,76	14,96	12,07	3/4 × 11,7 UNI 2579
C	3/4 × 18,8						—	49,72							3/4 × 11,7 UNI 2580
A	1 × 11,8	25,4	480	4,06	—	11,8	—	—	27,6	1,27	8,02	20,72	19,69	15,88	1 × 12,7 UNI 2578
A	1 × 15,9				—		—	—							1 × 17 UNI 2578
B	1 × 15,9	25,4	4,80	4,06	31,88	15,9	47,78	—	27,6	1,27	8,02	20,72	19,69	15,88	1 × 17 UNI 2579
C	1 × 15,9						—	79,66							1 × 17 UNI 2580
A	1 1/4 × 18,3				—		—	—							1 1/4 × 19,6 UNI 2578
B	1 1/4 × 18,3	31,75	5,10	4,95	36,45	18,3	54,75	—	33,7	1,27	9,61	24,85	23,62	19,05	1 1/4 × 19,6 UNI 2579
C	1 1/4 × 18,3						—	91,20							1 1/4 × 19,6 UNI 2580
A	1 ½ × 23,9				—		—	—							1 1/2 × 25,4 UNI 2578
B	1 1/2 × 23,9	38,1	6,10	5,97	48,36	23,9	72,26	—	40,5	1,27	12,80	33,12	31,50	25,40	1 1/2 × 25,4 UNI 2579
C	1 1/2 × 23,9						—	120,62							1 1/2 × 25,4 UNI 2580
A	1 3/4 × 29,2				—		—	—							1 3/4 × 31 UNI 2578
B	1 3/4 × 29,2	44,45	6,10	6,99	59,56	29,2	88,76	—	47,2	2,54	14,08	36,43	34,64	27,94	1 3/4 × 31 UNI 2579
C	1 3/4 × 29,2						—	148,32							1 3/4 × 31 UNI 2580
A	2 × 29,2				—		—	—							2 × 31 UNI 2578
B	2 × 29,2	50,8	8,90	8,00	58,55	29,2	87,75	—	54,0	2,54	14,72	38,09	36,22	29,21	2 × 31 UNI 2579
C	2 × 29,2						—	146,30							2 × 31 UNI 2580
A	2 1/2 × 35,9				—		—	—							2 1/2 × 38,1 UNI 2578
B	2 1/2 × 35,9	63,5	10,30	10,03	72,29	35,9	108,19	—	67,5	2,54	19,82	51,32	48,82	39,37	2 1/4 × 38,1 UNI 2579
C	2 1/2 × 35,9						—	180,48							2 1/4 × 38,1 UNI 2580
A	3 × 43,2				—		—	—							3 × 45,7 UNI 2578
B	3 × 43'2	76,2	11,00	11,94	91,21	43,2	134,41	—	81,0	2,54	24,29	62,90	59,84	48,26	3 × 45,7 UNI 2579
C	3 × 43,2						—	225,62							3 × 45,7 UNI 2580
A	3 1/2 × 50,4	88,9	18,80	13,97	—	50,4	—	—	94,5	5,08	27,16	70,34	66,93	53,98	3 1/2 × 53,3 UNI 2578
B	3 1/2 × 50,4				106,60		157,00	—							3 1/2 × 53,3 UNI 2579
A	4 × 57,6	101,6	21,10	16,00	—	57,6	—	—	108,0	5,08	31,94	82,74	78,74	63,50	4 × 61 UNI 2578
B	4 × 57,6				119,89		177,49	—							4 × 61 UNI 2579

Tabla 176

Engranajes para cadenas de rodillos Perfil longitudinal de los dientes	p mm	d Diámetro del rodillo de la cadena mm	R mm	r mm	a mm	r_1 mm	h máx mm
Perfil para engranajes de 9 a 12 dientes	8	5	2,54	4,60	—	—	5,
	9,525	6,35	3,20	11,43	—	—	5,95
	12,70	7,75	3,91	14,88	—	—	7,94
	12,70	8,51	4,29	15,24	—	—	7,94
	15,875	7,75	3,91	14,88	—	—	8,76
	15,875	10,16	5,13	19,05	—	—	9,92
	19,05	12,07	6,10	22,86	—	—	11,90
	25,40	16,88	8,03	30,48	—	—	15,88
	31,75	19,05	9,63	36,58	—	—	19,84
	38,10	25,40	12,83	45,72	—	—	23,81
	44,45	27,94	14,12	53,34	—	—	27,78
	50,80	29,21	14,76	56,08	—	—	31,75
	63,50	39,37	19,89	75,59	—	—	39,69
	76,20	48,26	24,38	91,44	—	—	47,62
	88,90	53,98	27,25	103,63	—	—	55,56
	101,60	63,50	32,08	121,92	—	—	63,50
Perfil para engranajes de 13 a 19 dientes	8	5	2,54	24,03	2,57	3,84	5
	9,525	6,35	3,20	28,58	3,05	4,57	5,95
	12,70	7,75	3,91	37,19	3,96	5,94	7,94
	12,70	8,51	4,29	38,10	4,06	6,10	7,94
	15,875	7,75	3,91	37,19	3,96	5,94	8,76
	15,875	10,16	5,13	47,63	5,08	7,62	9,92
	19,05	12,07	6,10	57,15	6,10	9,14	11,90
	25,40	15,88	8,03	76,20	8,13	12,19	15,88
	31,75	19,05	9,63	91,44	9,75	14,63	19,84
	38,10	25,40	12,83	114,30	12,19	18,29	23,81
	44,45	27,94	14,12	113,35	14,22	21,34	27,78
	50,80	29,21	14,76	140,21	14,96	22,43	31,75
	63,50	39,37	19,89	188,98	20,17	20,24	39,69
	76,20	48,26	24,38	228,60	24,38	36,58	47,62
	88,90	53,98	27,25	259,08	27,64	41,45	55,56
	101,60	63,50	32,08	304,80	32,51	48,77	63,50
Perfil para engranajes de 20 o más dientes	8	5	2,54	0,79	3,35	—	5
	9,525	6,35	3,20	0,94	4,01	—	5,95
	12,70	7,75	3,91	1,27	5,33	—	7,94
	12,70	8,51	4,29	1,27	5,33	—	7.94
	15,875	7,75	3,91	1,27	5,33	—	8,76
	15,875	10,16	5,13	1,57	6,35	—	9,92
	19,05	12,07	6,10	1,91	8	—	11,90
	25,40	15,88	8,03	2,54	10,67	—	15,88
	31,75	19,05	9,63	3,18	13,34	—	19,84
	38,10	25,40	12,83	3,81	16	—	23,81
	44,45	27,94	14,12	4,45	18,67	—	27,78
	50,80	29,21	14,76	5,08	21,34	—	31,75
	63,50	39,37	19,89	6,35	26,67	—	39,69
	76,20	48,26	24,38	7,62	32	—	47,62
	88,90	53,98	27,25	8,89	37,34	—	55,56
	101,60	63,50	32,08	10,16	42,67	—	63,50

Para calcular las medidas de las ruedas dentadas para cadenas, según las normas italianas, se procede del modo siguiente, partiendo del paso de la cadena seleccionada. Teniendo en cuenta que este paso es evidentemente un *paso en la cuerda*, es posible deducir del mismo el diámetro primitivo de la rueda o del piñón que tenga un número de dientes determinado, calculando el diámetro de la circunferencia circunscrita a un polígono regular de un número de lados igual al número de dientes, cada uno de una longitud igual al paso.

Es evidente que, si llamamos **Z** al número de dientes, el ángulo 2α central correspondiente a un lado será:

$$2\alpha = \frac{360°}{Z}$$

El semiángulo α será $\frac{180}{Z}$

El diámetro primitivo d_p se calcula en función del paso **p** de la cadena y del ángulo α que se acaba de calcular (fig. II, 461):

$$d_p = \frac{2\frac{p}{2}}{\text{sen}\,\alpha} = \frac{p}{\text{sen}\,\alpha} = p \cdot \frac{1}{\text{sen}\,\alpha}$$

En la tabla 177 se hallarán los valores de $1/\text{sen}\,\alpha$ para valores de **Z** comprendidos entre 12 y 152; multiplicando el valor dado por la tabla, por el paso, se tiene inmediatamente el diámetro primitivo de la rueda. Para las otras medidas se utiliza la pequeña tabla de la figura II, 461.

Tabla 177

Valores de $\frac{1}{\text{sen}\,\alpha}$ en función de **Z**

Z	$\frac{1}{\text{sen}\,\alpha}$	Z	$\frac{1}{\text{sen}\,\alpha}$	Z	$\frac{1}{\text{sen}\,\alpha}$	Z	$\frac{1}{\text{sen}\,\alpha}$	Z	$\frac{1}{\text{sen}\,\alpha}$
8	2.6131	37	11.7916	66	21.0164	95	30.2449	124	39.4746
9	2.9238	38	12.1096	67	21.3346	96	30.5632	125	39.7929
10	3,2361	39	12.4275	68	21.6528	97	30.8814	126	40.1112
11	3,5494	40	12.7455	69	21.9710	98	31.1997	127	40.4295
12	3.8637	41	13.0635	70	22.2892	99	31.5180	128	40.7478
13	4.1786	42	13.3815	71	22.6074	100	31.8362	129	41.0660
14	4.4939	43	13.6995	72	22.9256	101	32.1545	130	41.3843
15	4.8097	44	14.0176	73	23.2438	102	32.4727	131	41.7026
16	5.1258	45	14.3356	74	23.5620	103	32.7910	132	42.0209
17	5.4422	46	14.6536	75	23.8802	104	33.1093	133	42.3391
18	5.7588	47	14.9717	76	24.1985	105	33.4275	134	42.6574
19	6.0755	48	15.2898	77	24.5167	106	33.7458	135	42.9757
20	6.3925	49	15.6079	78	24.8349	107	34.0640	136	43.2940
21	6.7095	50	15.9260	79	25.1531	108	34.3823	137	43.6123
22	7.0266	51	16.2441	80	25.4713	109	34.7006	138	43.9306
23	7.3439	52	16.5622	81	25.7896	110	35.0188	139	44.2488
24	7.6613	53	16.8803	82	26.1078	111	35.3371	140	44.5671
25	7.9787	54	17.1984	83	26.4260	112	35.6554	141	44.8854
26	8.2962	55	17.5166	84	26.7443	113	35.9736	142	45.2037
27	8.6138	56	17.8347	85	27.0625	114	36.2919	143	45.5220
28	8.9314	57	18.1529	86	27.3807	115	36.6102	144	45.8403
29	9.2491	58	18.4710	87	27.6990	116	36.9285	145	46.1585
30	9.5668	59	18.7892	88	28.0172	117	37.2467	146	46.4768
31	9.8845	60	19.1073	89	28.3355	118	37.5650	147	46.7951
32	10.2023	61	19.4255	90	28.6537	119	37.8833	148	47.1134
33	10.5201	62	19.7437	91	28.9719	120	38.2015	149	47.4317
34	10.8380	63	20.0619	92	29.2902	121	38.5198	150	47.7500
35	11.1558	64	20.3800	93	29.6084	122	38.8381	151	48.0682
36	11.4737	65	20.6982	94	29.9267	123	39.1564	152	48.3865

Cuando el coeficiente de selección anteriormente indicado es mayor que la unidad, no conviene que el número de dientes del piñón sea inferior a 23; pero si las condiciones de funcionamiento son normales (coef. = 1) se puede llegar a 19. Para las ruedas, el número máximo de dientes admisible en la práctica es 150.

La cadena debe arrollarse sobre el piñón abrazando un arco de 120° como mínimo, si el piñón tiene menos de 27 dientes; si este número de dientes es superior, el arco abrazado puede bajar hasta 90°.

La máxima distancia entre los ejes de dos árboles es de 2,50 m; generalmente se escoge un valor de 30 a 80 veces el paso de la cadena. Prácticamente no hay un valor mínimo para la distancia entre ejes, que está limitada únicamente por la abertura del ángulo de arrollamiento sobre el piñón, como se ha dicho. Para determinar la distancia entre ejes conviene tener presente que el número de eslabones se ha de procurar que sea par, con el fin de suprimir el falso eslabón (fig. II, 463) que se ha de intercalar cuando el número de eslabones es impar, y que es siempre un punto flaco de la cadena de transmisión.

La relación entre la distancia **C** entre ejes (en mm), el número **M** de eslabones que ha de tener la cadena, el paso **p** de la cadena (en mm) y los números de dientes **Z** y **z** de la rueda y del piñón respectivamente, se expresa como indica la siguiente fórmula práctica:

$$\mathbf{M} = \frac{\mathbf{Z} + \mathbf{z}}{2} + \frac{2\mathbf{C}}{\mathbf{p}} + \frac{\mathbf{Sp}}{\mathbf{C}}$$

en la que **S** es una función de **Z — z**, cuyos valores se hallan en la siguiente tabla 178.

De esta relación se pueden deducir, por tanteo, **M** y **C** de modo que se cumplan las condiciones impuestas para la transmisión.

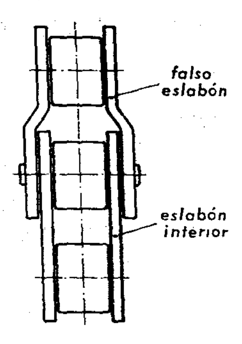


Fig. II, 463. *Falso eslabón, necesario en las cadenas que tengan un número impar de eslabones. Se ha de procurar que el número de eslabones sea par, porque el falso eslabón es siempre un punto flaco de la cadena.*

Tabla 178

Tabla con los valores de S, en función de Z-z, para el cálculo del número de eslabones de una cadena de rodillos

Z - z	S	Z - z	S	Z - z	S	Z - z	S	Z - z	S	Z - z	S	Z - z	S
1	0.03	21	11.17	41	42.58	61	94.25	81	166.19	101	258.39	121	370.86
2	0.10	22	12.26	42	44.68	62	97.37	82	170.32	102	263.54	122	377.02
3	0.23	23	13.40	43	46.84	63	100.54	83	174.50	103	268.73	123	383.22
4	0.41	24	14.59	44	49.04	64	103.75	84	178.73	104	273.97	124	389.48
5	0.63	25	15.83	45	51.29	65	107.02	85	183.01	105	279.27	125	395.79
6	0.91	26	17.12	46	53.60	66	110.34	86	187.34	106	284.67	126	402.14
7	1.24	27	18.47	47	55.95	67	113.71	87	191.73	107	290.01	127	408.55
8	1.62	28	19.86	48	58.36	68	117.13	88	196.16	108	295.45	128	415.01
9	2.05	29	21.30	49	60.82	69	120.60	89	200.64	109	300.95	129	421.52
10	2.53	30	22.80	50	63.33	70	124.12	90	205.18	110	306.50	130	428.08
11	3.06	31	24.34	51	65.88	71	127.69	91	209.76	111	312.09	131	434.69
12	3.65	32	25.94	52	68.49	72	131.31	92	214.40	112	317.74	132	441.36
13	4.28	33	27.58	53	71.15	73	134.99	93	219.08	113	323.44	133	448.07
14	4.96	34	29.28	54	73.86	74	138.71	94	223.82	114	329.19	134	454.83
15	5.70	35	31.03	55	76.62	75	142.48	95	228.61	115	334.99	135	461.64
16	6.48	36	32.83	56	79.44	76	146.31	96	233.44	116	340.84	136	468.51
17	7.32	37	34.68	57	82.30	77	150.18	97	238.33	117	346.75	137	475.42
18	8.21	38	36.58	58	85.21	78	154.11	98	243.27	118	352.70	138	482.39
19	9.14	39	38.53	59	88.17	79	158.09	99	248.26	119	358.70	139	489.41
20	10.13	40	40.53	60	91.19	80	162.11	100	253.30	120	364.76	140	496.47

En el caso de que **M** sea un dato, se determina **C** fácilmente despejando **C** de la fórmula anterior, resultando el valor de **C** por la fórmula siguiente:

$$C = p \frac{M - \frac{Z + z}{2} + \sqrt{\left(M - \frac{Z + z}{2}\right)^2 - 8S}}{4}$$

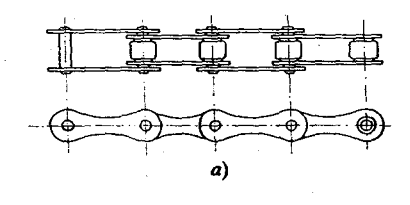
90. Algunas consideraciones prácticas y ejemplos de aplicaciones de cadenas de rodillos

Para que la transmisión pueda dar un resultado completamente satisfactorio, conviene que la tensión de la cadena no sea muy grande ni escasa, para lo cual se ha de disponer un sistema para variar la distancia entre ejes, mediante la traslación de uno de ellos, o bien instalar adecuados tensores. La regulación ha de ser capaz de compensar un alargamiento correspondiente a dos pasos o, en cadenas de gran longitud, el 2 % de la longitud nominal de la cadena.

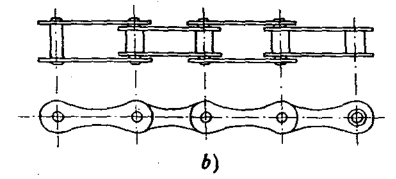
Como tensor se emplea generalmente un piñón de al menos 19 dientes, instalado en la cara externa del ramal conducido (flojo) de la cadena, lo más cerca posible de la rueda, pero en posición tal que queden libres por lo menos 4 pasos de cadena entre el tensor y la rueda; en la posición inicial el tensor ha de arrollar como mínimo 3 eslabones de la cadena.

Una de las ventajas de la transmisión por cadena, y no de las de menos importancia, es la de permitir que un árbol motor pueda, con una sola cadena, hacer girar simultáneamente varios árboles, cada uno con la velocidad correspondiente; disponiendo convenientemente las ruedas dentadas, estas ruedas conducidas pueden incluso girar en sentidos diferentes.

En la figura II, 464 *a, b* se pueden ver dos tipos de cadenas distintas de las unificadas, de paso largo.

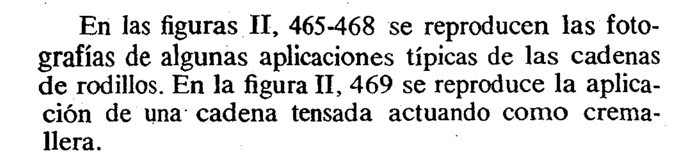


a)

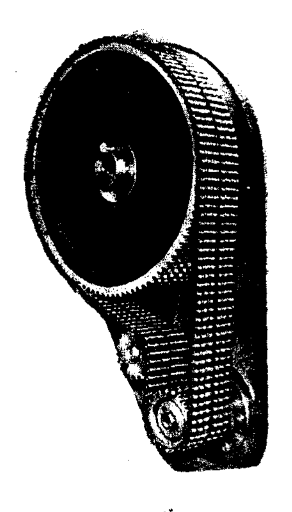


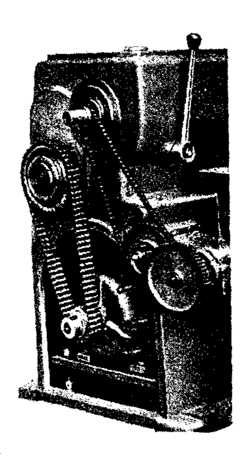
b)

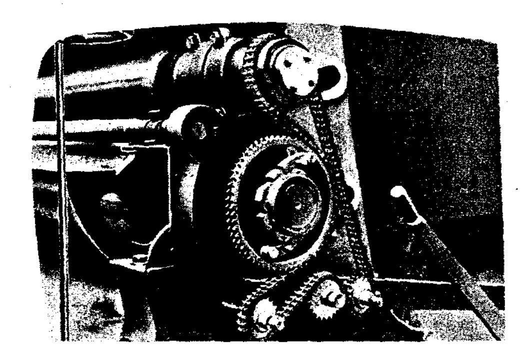
Fig. II, 464. *Cadenas de paso largo:* a) *de rodillos;* b) *de casquillos.*

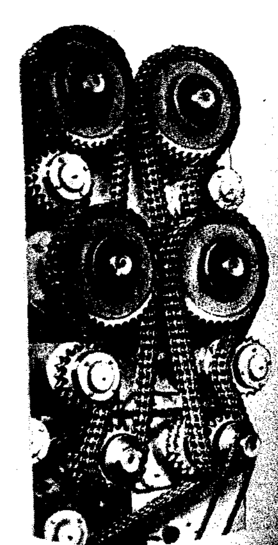


En las figuras II, 465-468 se reproducen las fotografías de algunas aplicaciones típicas de las cadenas de rodillos. En la figura II, 469 se reproduce la aplicación de una cadena tensada actuando como cremallera.









Figs. II, 465-468. *Algunas aplicaciones de las transmisiones de cadena, evidentemente muy prácticas.*

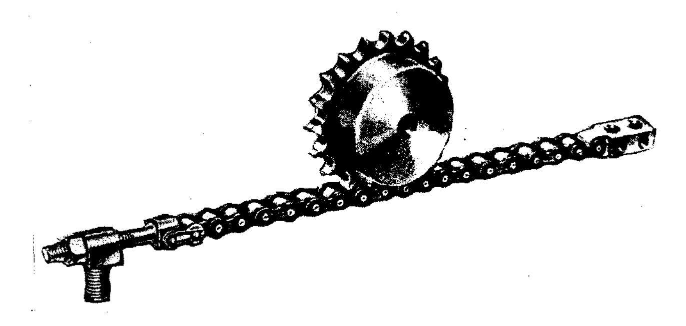


Fig. II, 469. *Una cadena tensada puede cumplir la función de una cremallera.*

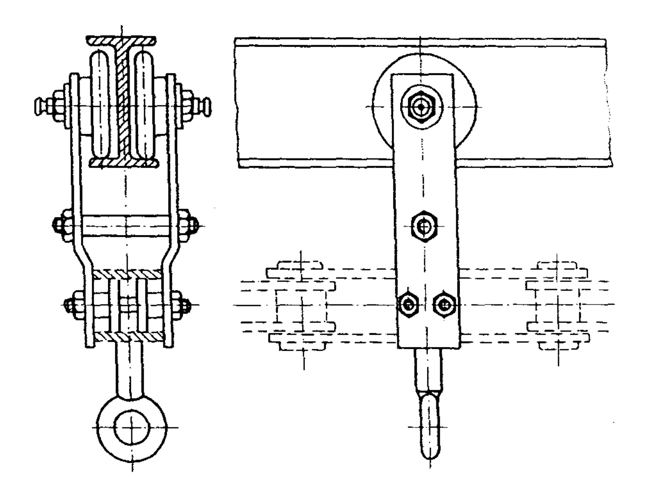


Fig. II, 471. *Carritos para transportes suspendidos por cadena.*

En cuanto a las transmisiones de cadena para transporte, que pueden tener gran interés para el dibujante mecánico, se ha de tener presente que las cadenas que se emplean no difieren esencialmente de las anteriormente estudiadas, llevando solamente anexos algunos accesorios apropiados para la clase de transporte que han de efectuar. En las figuras II, 470-472 se representan algunas piezas de aletas, los carritos y los eslabones especiales de doble enganche en cardán, necesarios para el transporte sobre planos inclinados.

Para algunas aplicaciones se encuentran en el comercio cadenas con piezas fundidas de acero, fundición maleable, bronce, etc., con eslabones de formas variadas, adecuadas al empleo específico a que van destinados.

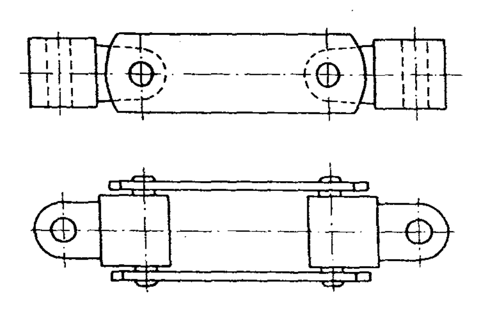
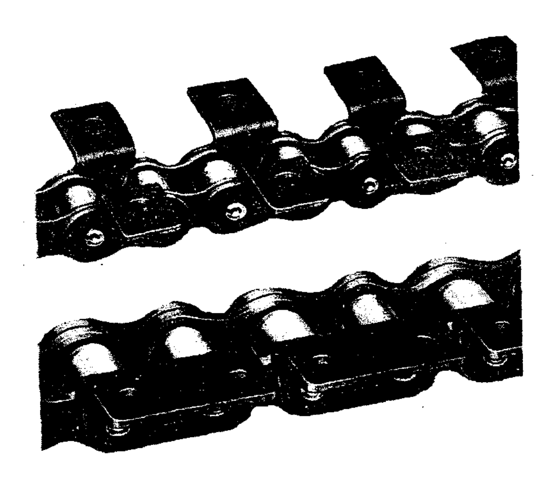


Fig. II, 472. *Eslabón de doble enganche cardán para transporte sobre planos inclinados.*



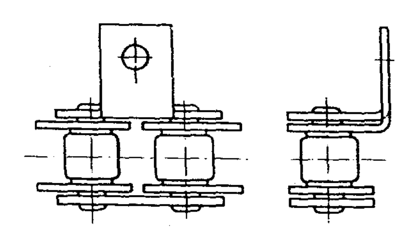


Fig. II, 470. *Piezas de aletas para transporte con cadena.*

91. Trinquetes

Generalmente se conocen con el nombre de trinquetes los mecanismos que pueden cumplir una de las dos funciones siguientes:

a) Constituir el aparato detentor del movimiento de un mecanismo en el cual un órgano puede girar (o moverse longitudinalmente) en un determinado sentido, pero no en el opuesto. Un caso típico de aplicación de un trinquete de este tipo se halla en los cabrestantes y en general en los aparatos elevadores, en los que se ha de evitar la caída de las cargas elevadas, en la rueda libre de las bicicletas, en los tambores del muelle de los relojes y despertadores, etc. En las figuras II, 473-474 se representan esquemáticamente dos trinquetes de este tipo, constituidos por una rueda dentada con dientes de sierra y un gatillo (fig. II, 473) o un áncora (fig. II, 474). La diferencia entre la función cinemática del gatillo y del áncora se ve claramente comparando las dos figuras; el gatillo trabaja por compresión, apoyándose contra el diente, cuando la rueda dentada (y el tambor unido a la misma) quiere girar en sentido opuesto al permitido;

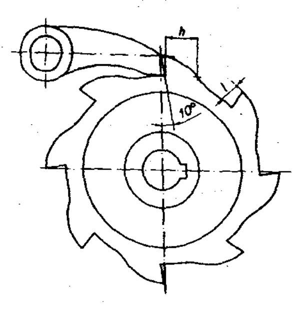


Fig. II, 473. *Trinquete con gatillo.*

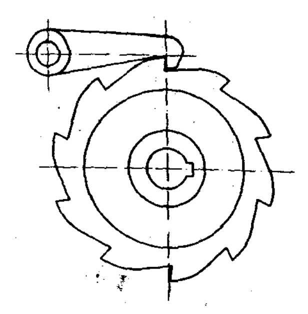


Fig. II, 474. *Trinquete con áncora.*

el áncora en cambio retiene el diente trabajando por tracción o por tracción y flexión.

Tanto los gatillos como las áncoras se pueden mantener aplicados sobre la rueda por su propio peso, y cuando éste no es suficiente o cuando el peso no pueda mantenerlos apretados sobre la rueda, por su posición en el mecanismo, se efectúa esta función por la acción de un resorte, como ocurre, por ejemplo, en el mecanismo de dar cuerda a los relojes (fig. II, 475).

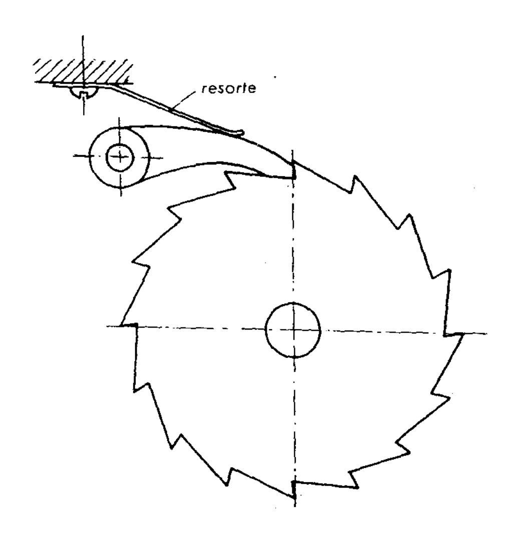


Fig. II, 475. *Trinquete con resorte.*

b) Transformar un movimiento rectilíneo alternativo en movimiento giratorio intermitente (fig. II, 476). Se encuentran mecanismos de este tipo en varias máquinas herramientas (por ejemplo, limadoras); en los telares para tejidos, etc., en los cuales constituyen la parte esencial de los aparatos de alimentación o de plegado.

La figura II, 477 reproduce el mecanismo de alimentación de una limadora.

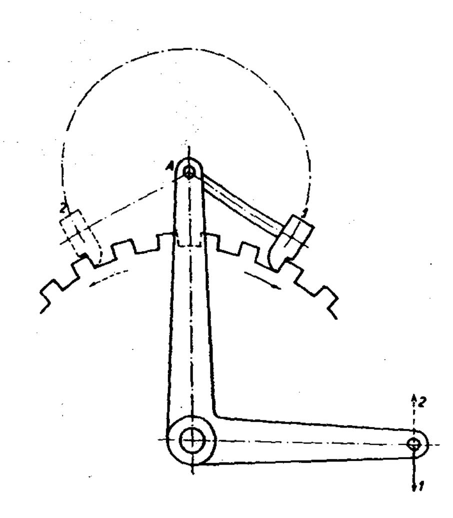


Fig. II, 476. *Trinquete para transformar un movimiento rectilíneo alternativo en movimiento de rotación intermitente: pasando el gatillo de la posición* 1 *a la posición* 2, *se invierte el sentido de rotación.*

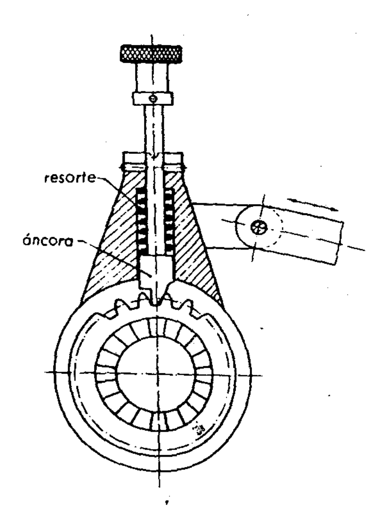
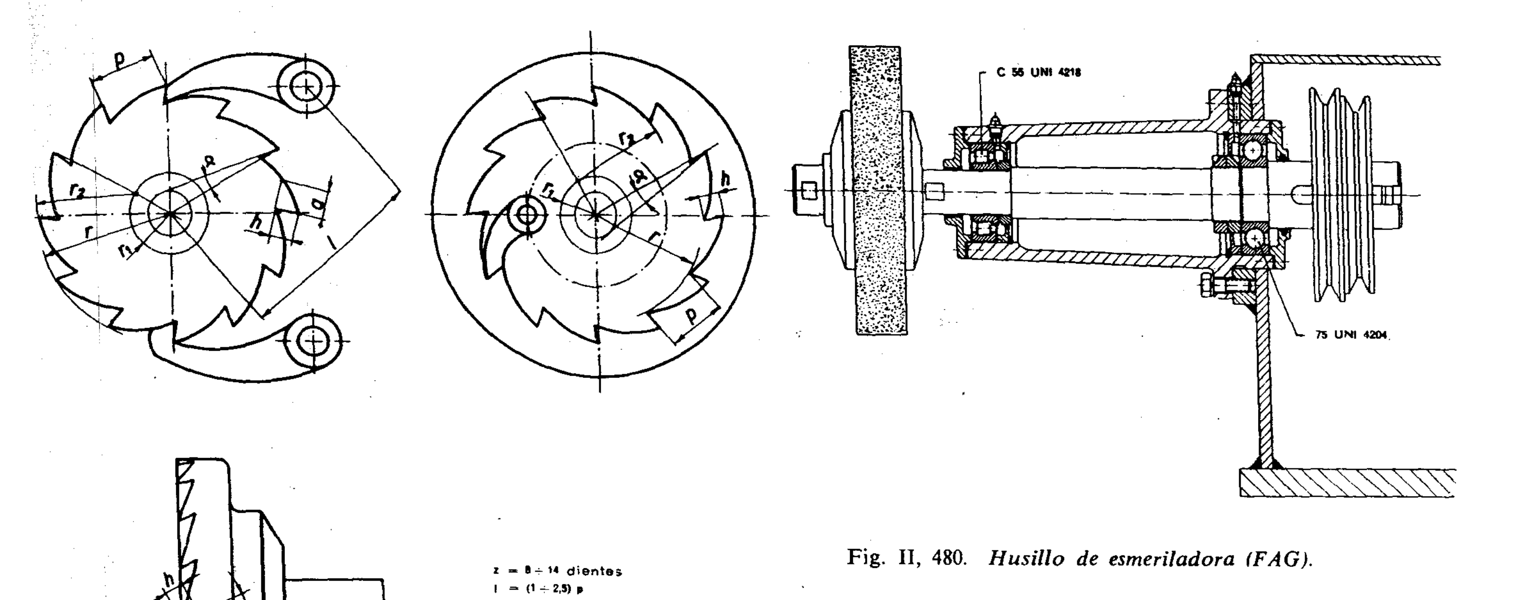


Fig. II, 477. *Aplicación del principio de la* figura II, 476 *a la alimentación de una limadora.*

Las figuras II, 478 *a, b, c* representan algunos tipos de trinquetes del primer grupo.

En las ruedas de dentado especial para trinquetes, cuando el mecanismo sirve sólo como órgano de detención, el número de dientes varía alrededor de 10; el lado de longitud l (fig. II, 473) es radial o tiene una inclinación de unos 10°.

Indicando con **P** la fuerza tangencial en kg que actúa sobre el diente de la rueda, y suponiendo que sea ésta de fundición, con una carga de seguridad de 2 kg por mm², se toma generalmente $\mathbf{h} = \mathbf{1{,}5}\ l$; $\mathbf{b}$ (espesor en sentido del eje) $= \mathbf{3}\ l$. Se tiene entonces $l = \mathbf{0{,}67}\ \sqrt{\mathbf{P}}$.



$z = 8 \div 14$ dientes
$l = (1 \div 2{,}5)\ p$
$h = (0{,}35 \div 0{,}5)\ p$
$r_1 \cong 0{,}3r$
$a \cong 0{,}5p$
$\alpha = 10^\circ \div 20^\circ$
r_2 con centro sobre circunferencia de radio r_1

Fig. II, 480. *Husillo de esmeriladora (FAG).*

Fig. II, 478. *Algunos tipos de trinquete del primer grupo:* a) *tipo combinado de gatillo y áncora;* b) *de gatillo interior* c) *de gatillo lateral.*

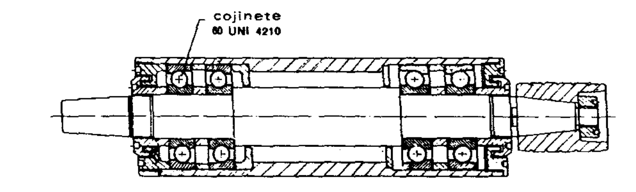


Fig. II, 481. *Husillo para rectificadora (RIV).*

92. Ejemplos de aplicaciones de mecanismos de transmisión de movimiento de rotación

En las figuras II, 479-491 se reproducen varias aplicaciones de cojinetes a mecanismos diversos, correspondientes a transmisiones de movimiento de rotación.

Estas figuras, sacadas de varios catálogos técnicos, tienen por objeto únicamente presentar, en líneas generales, diferentes aplicaciones de los cojinetes; no están acotadas y se han de considerar únicamente a título indicativo.

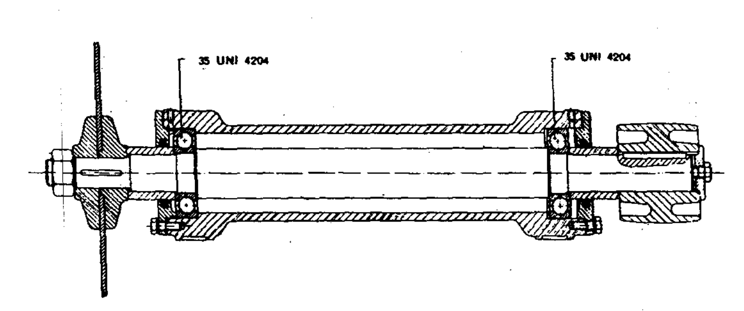


Fig. II, 479. *Árbol de sierra circular montado sobre cojinetes de bolas (FAG).*

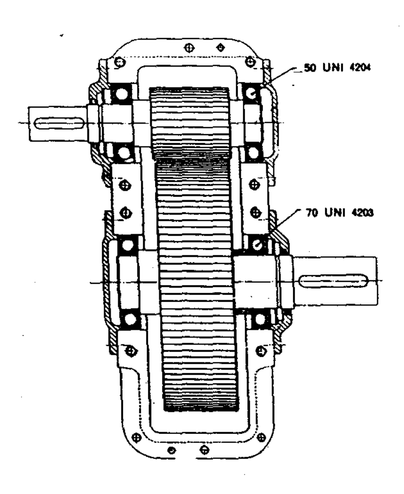


Fig. II, 482. *Reductor de engranajes cilíndricos de dientes rectos (SKF).*

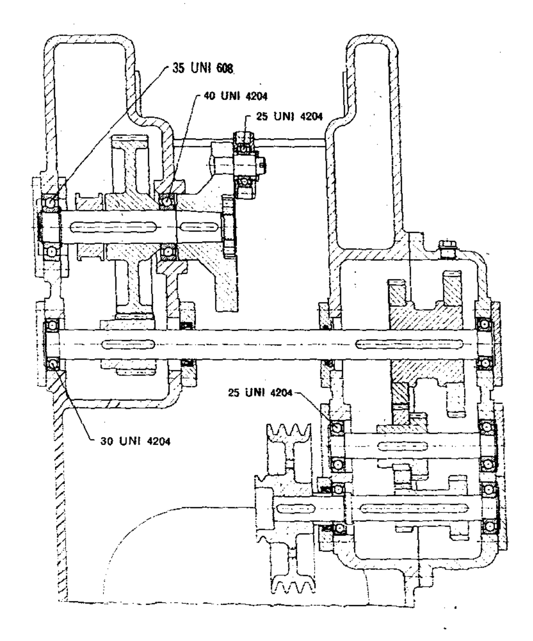


Fig. II, 483. *Aplicación de cojinetes de bolas a un cambio de engranajes con polea para correas trapeciales (FAG).*

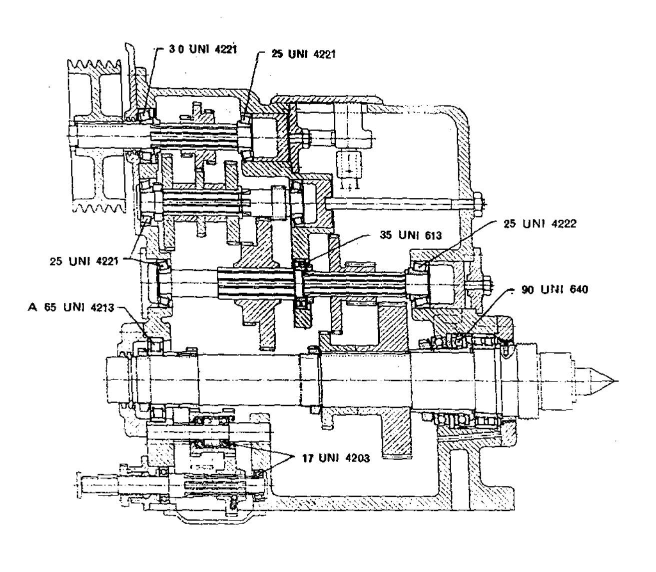


Fig. II, 486. *Aplicación de cojinetes al cambio de engranajes del cabezal motor de un torno (SKF).*

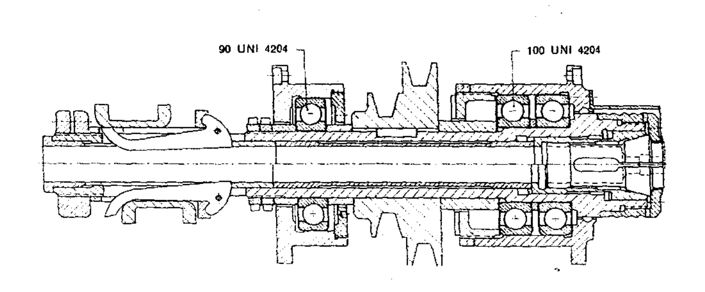


Fig. II, 484. *Husillo para torno revólver (FAG).*

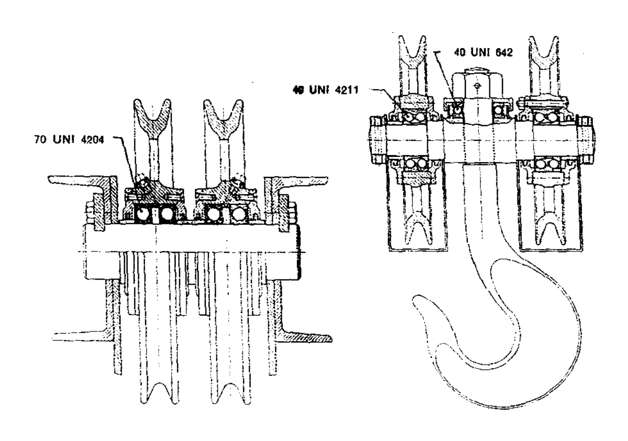


Fig. II, 487. *Poleas de cables para grúa (SKF).*

Fig. II, 488. *Poleas de cables con gancho para grúa (SKF).*

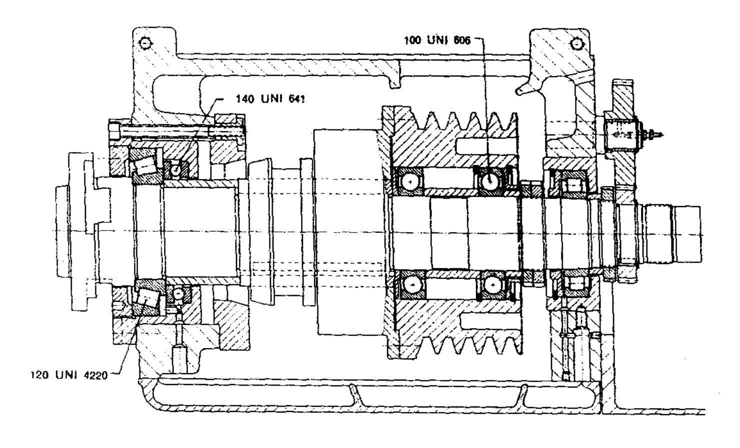


Fig. II, 485. *Husillo de torno semiautomático (FAG).*

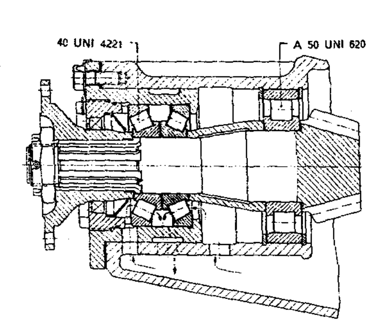


Fig. II, 489. *Árbol del piñón de un camión (FAG).*

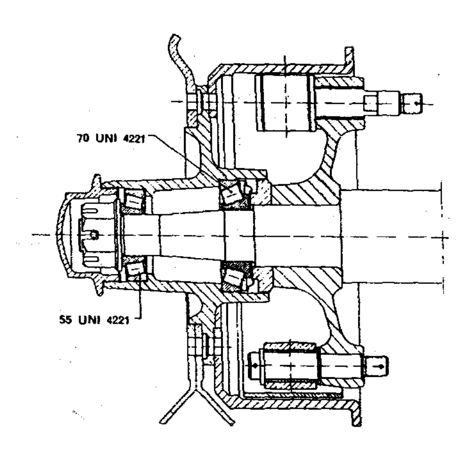


Fig. II, 490. *Eje de remolque (FAG).*

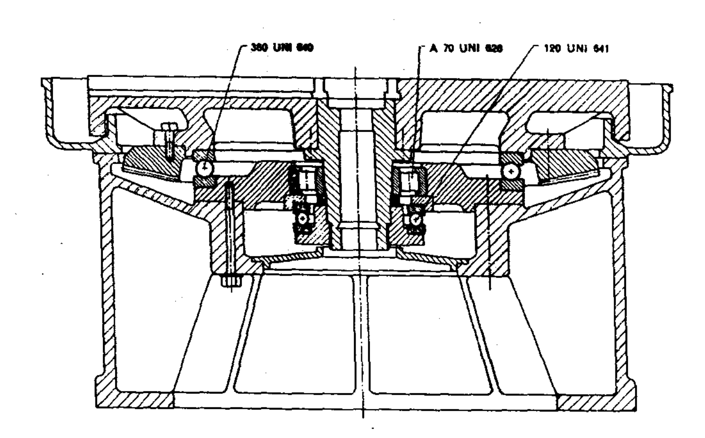


Fig. II, 491. *Aplicación de cojinetes a un torno de alfarero (FAG).*

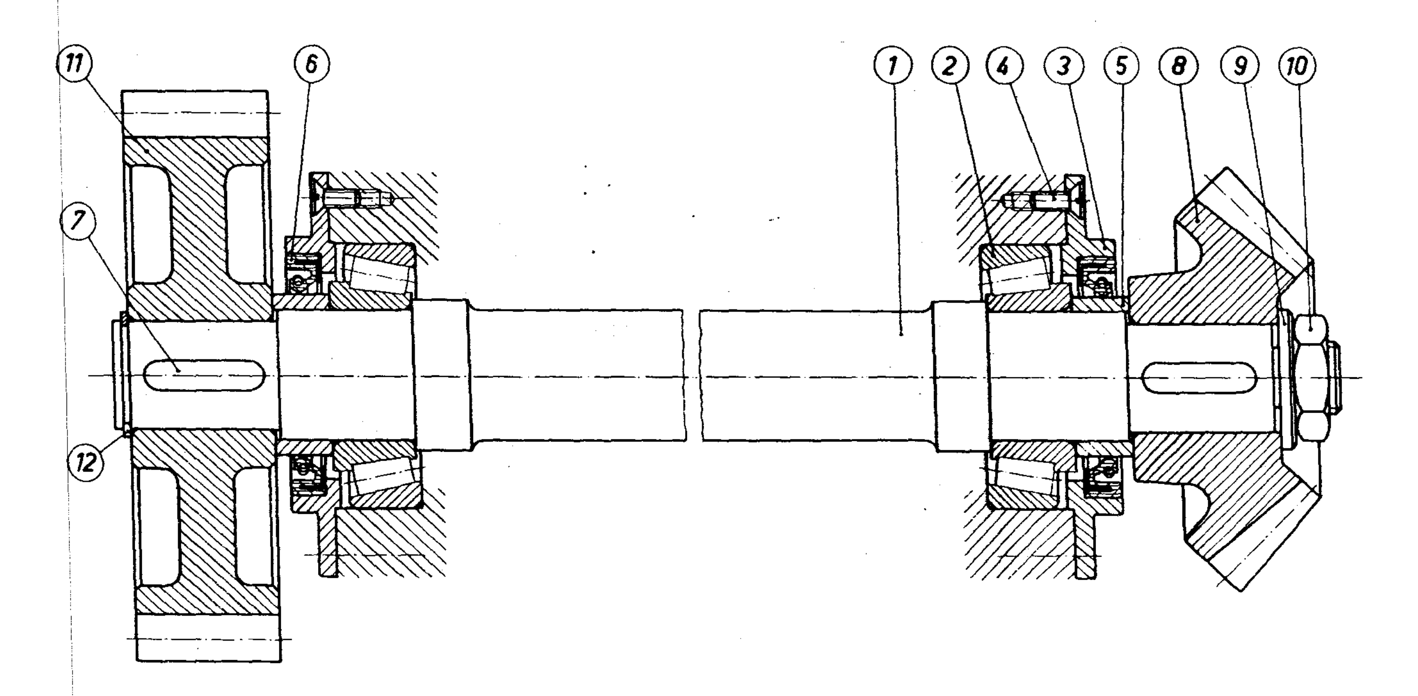
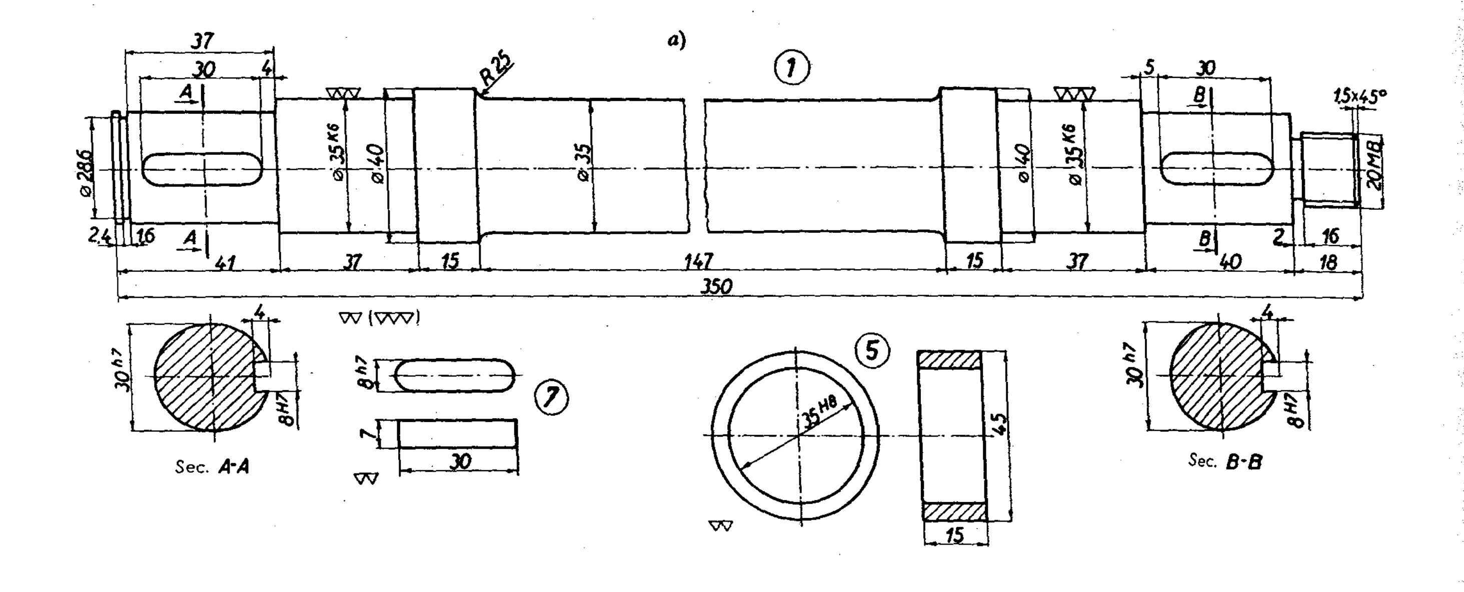
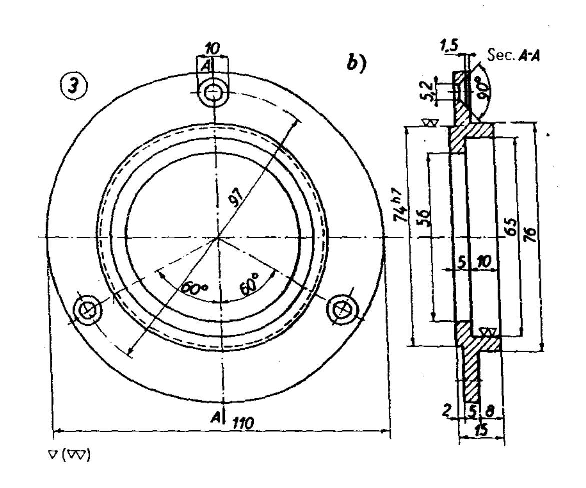


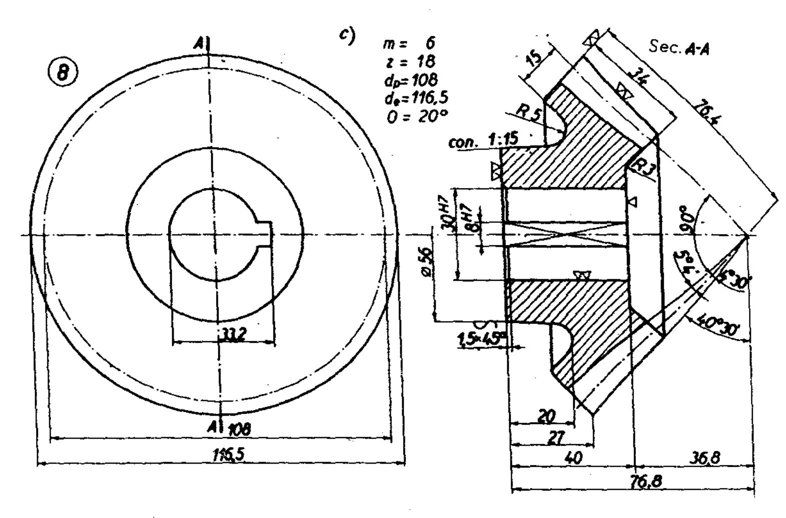
Fig. II, 492. *Árbol con ruedas dentadas y cojinetes. Algunos detalles están dibujados en la página siguiente.*

Pos.	Denominación	Nº Piezas	Material	Notas
12	Arandela elástica de seguridad, para el árbol	1	C 72 UNI 3545	Aro 30 UNI 3653
11	Engranaje cilíndrico	1	Aq 42 UNI 743	
10	Tuerca hexagonal	1	A 37 UNI 743	20 UNI 209
9	Arandela	1	A 37 UNI 743	Arandela 21 UNI 1734
8	Engranaje cónico	1	Aq 42 UNI 743	
7	Lengüeta encajada	1	Aq 60 UNI 743	8x7x30 UNIM 92
6	Empaquetadura de anillo	2		45x65x10
5	Anillo distanciador	2	A 37 UNI 743	
4	Tornillo de cabeza avellanada a 90°	6	A 37 UNI 743	5x14 UNI 256
3	Disco porta empaquetadura de anillo	2	A 37 UNI 743	
2	Cojinete de rodillos cónicos	2	100 C6 UNI 3097	35 UNI 4220
1	Arbol	1	Aq 42 UNI 743	

Dib. Nº	RAZON SOCIAL	Fecha / Escala	Dibujante:
		Substituido por el dibujo Nº	Calco:
APLICACIONES DE COJINETES DE RODILLOS CONICOS Y DE ENGRANAJES		Substituye el dibujo Nº	Comprobado:
		Observaciones:	







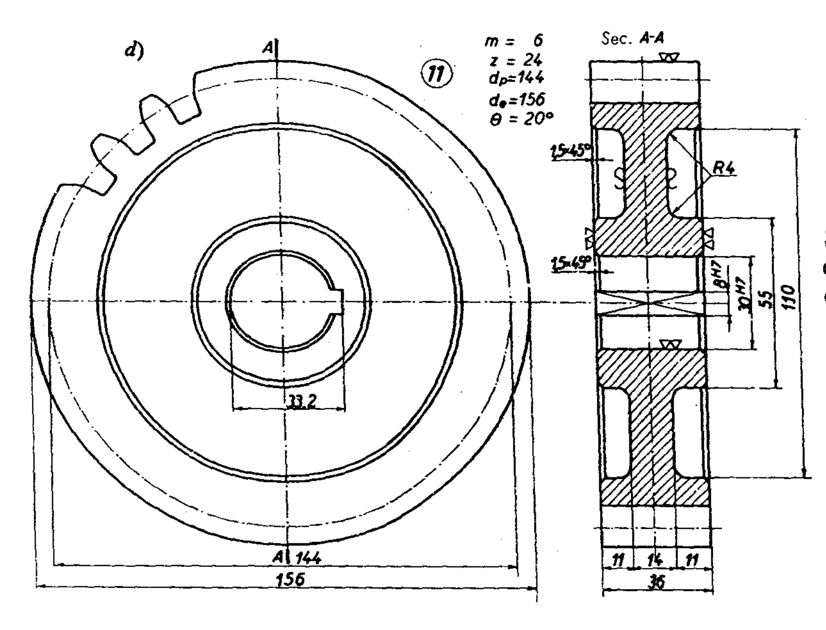


Fig. II, 493 a, b, c, d. *Detalles de la figura anterior.*

Se llama especialmente la atención del lector sobre el hecho de que las figuras II, 480 a 492 representan ejemplos de aplicación de cojinetes de rodamiento, sacados de las publicaciones técnicas de las firmas indicadas en las correspondientes leyendas.

Mas para cuanto se refiera a cualquier aplicación, desde el punto de vista general, se ha de hacer siempre referencia a los casos típicos expuestos detalladamente en los párrafos que tratan de los cojinetes de rodamiento.

A continuación, las figuras II, 492-495 reproducen los dibujos técnicos completos de dos aplicaciones de los temas tratados en el presente capítulo.

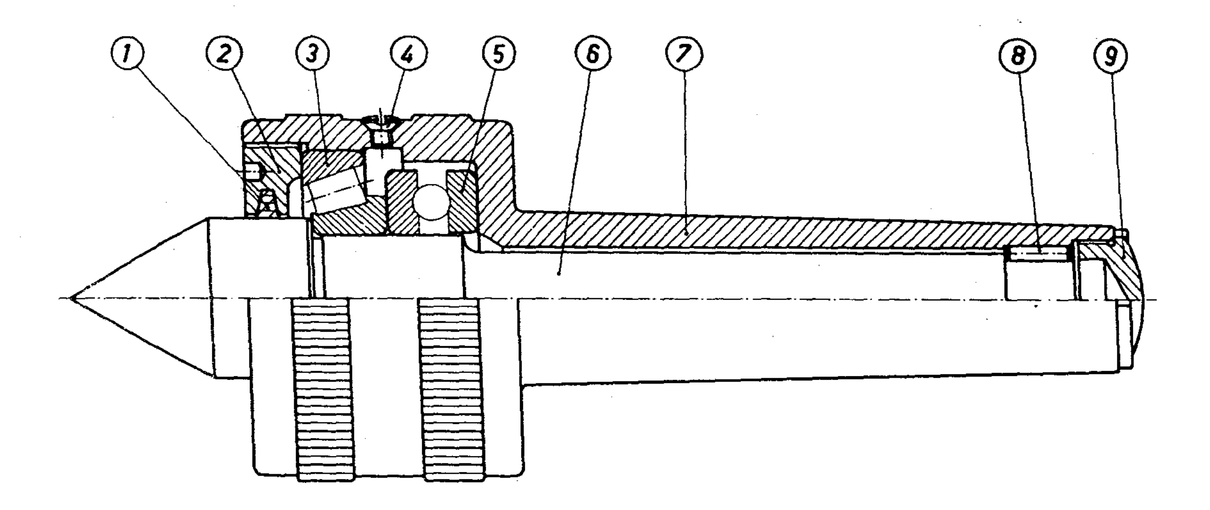


Fig. II, 494. *Contrapunto giratorio para torno.*

9	Tapón roscado	1	Aq 50 UNI 743	
8	Aguja	18	100 C6 UNI 3097	ø 2x 7, 8
7	Cuerpo principal con parte cónica	1	C 40 UNI 3988 bonificado	Ajuste cónico UNI 521
6	Punta	1	C 15 UNI 3987 cementado al carbón	
5	Cojinete de bolas axial	1	100 C6 UNI 3097	17 UNI 641
4	Tornillo de cabeza avellanada	1	A 37 UNI 743	3x6 UNI 271
3	Cojinete de rodillos cónicos	1	100 C6 UNI 3097	17 UNI 636
2	Aro roscado	1	Aq 50 UNI 743	
1	Empaquetadura	1	Fieltro	
Pos.	Denominación	Nº Piezas	Material	Notas
Dib. Nº	RAZON SOCIAL	Fecha	Escala	Dibujante:
		Substituido por el dibujo Nº		Calco:
CONTRAPUNTO GIRATORIO PARA TORNO		Substituye el dibujo Nº		Comprobado:
		Observaciones:		

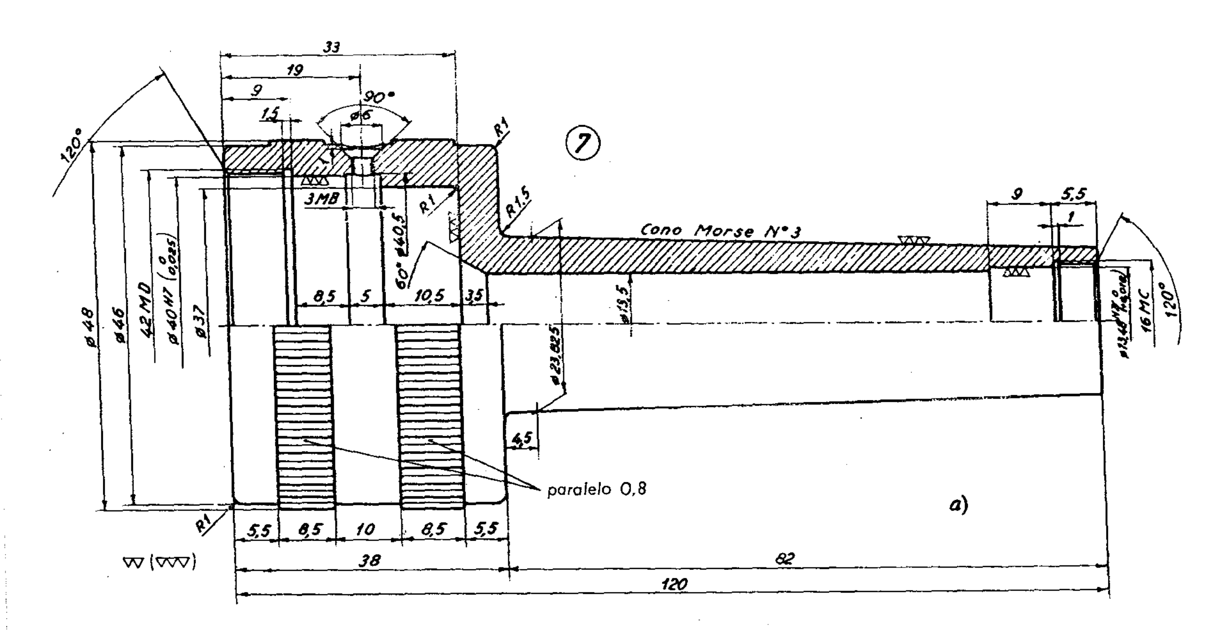


Fig. II, 495 a). *Detalles del contrapunto de la* figura II, 494 *(continúa en la página siguiente).*

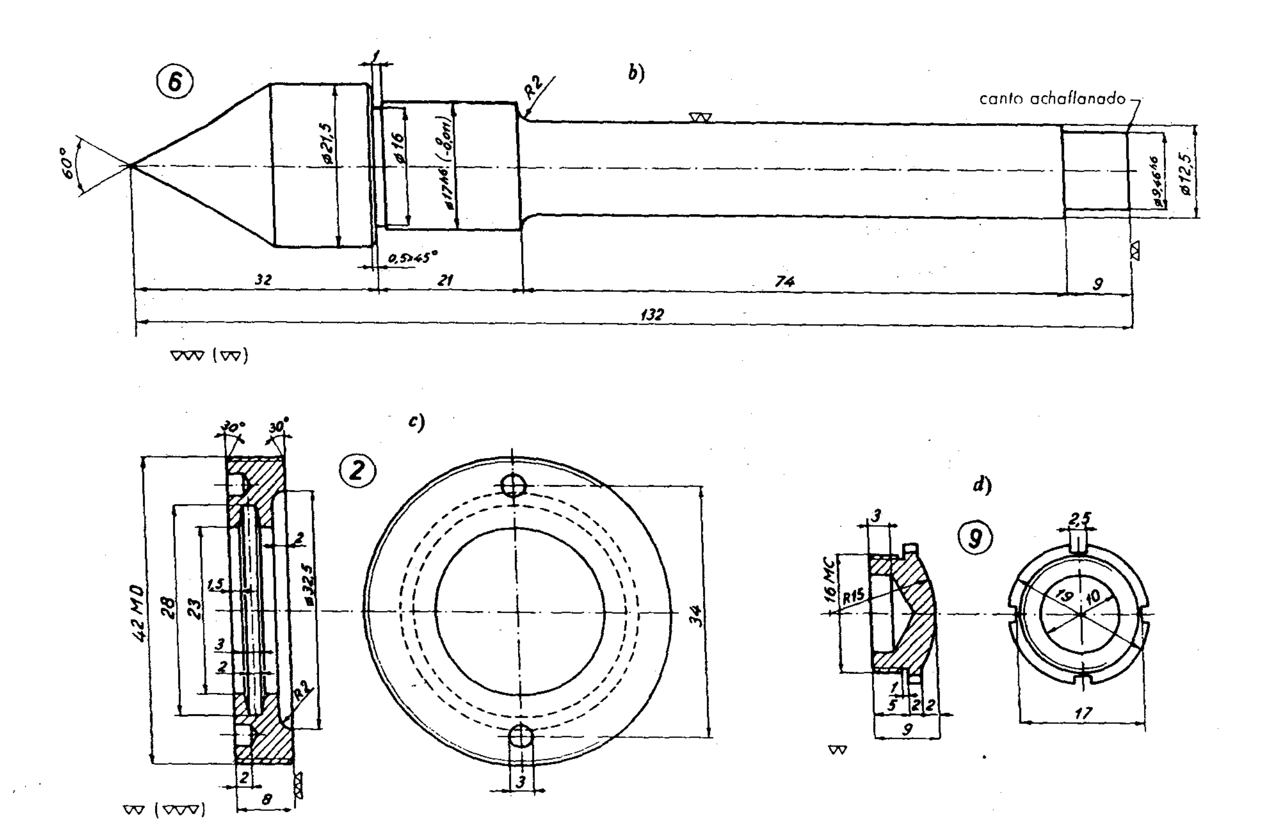


Fig. II, 495 b), c), d). *Continuación de los detalles de la* figura II, 494.

Capítulo XII

MECANISMOS PARA LA CONVERSIÓN DEL MOVIMIENTO ALTERNATIVO EN MOVIMIENTO CIRCULAR

93. Manivelas y cigüeñales

Se sabe por la Mecánica que uno de los principales sistemas para transformar el movimiento (rectilíneo) alternativo en movimiento circular (continuo) es el **mecanismo de biela y manivela.**

Los elementos de este mecanismo están proyectados para cumplir las condiciones cinemáticas deseadas y están calculados por la resistencia de materiales, de modo que tengan las dimensiones adecuadas a los esfuerzos que han de soportar. Su forma y configuración varía según sea el tipo de motor alternativo a que se aplican.

Aun prescindiendo de entrar en detalles, tanto sobre los cálculos como sobre el estudio de las condiciones cinemáticas de funcionamiento de los elementos de este mecanismo, es indispensable dar alguna noticia sobre los mismos, desde el punto de vista constructivo.

Manivela. Está constituida en su forma más simple por un brazo giratorio, cuyo extremo correspondiente al eje de rotación está montado sobre un gorrón del árbol de la máquina; el otro extremo constituye el **botón de la manivela** sobre el cual se articula la **cabeza de la biela.** La distancia entre los ejes del botón de la manivela y del árbol al que va fijada, constituye el **radio de la manivela,** elemento fundamental del mecanismo, dado que la carrera del movimiento alternativo es exactamente igual al doble de dicho radio.

Esta ejecución que, como se ha dicho, es la más sencilla, es la que corresponde al caso de las manivelas montadas en el extremo del árbol motor (**manivela de extremo**), de mucha aplicación en máquinas herramientas y en máquinas monocilíndricas, tales como bombas, compresores, máquinas de vapor, etc.

La figura II, 496 representa este tipo de manivela de extremo, que se calcula para el esfuerzo máximo transmitido al botón de la manivela. En el caso de máquinas monocilíndricas de émbolo, este esfuerzo lo da la fórmula $\mathbf{P} = \mathbf{pS}$, en la que **p** es la presión máxima unitaria que ejerce el fluido motor sobre el émbolo de la superficie **S**. En la figura II, 496 se han puesto además fórmulas y datos de las proporciones de la manivela; en dichas fórmulas $\mathbf{M}_i$ es el momento de flexión ideal que, como es sabido, se calcula buscando el momento flector $\mathbf{P \cdot a}$ y el momento de torsión $\mathbf{P \cdot r}$. La longitud $\mathbf{L}_1$ del soporte del árbol se determina teniendo en cuenta las condiciones de lubricación.

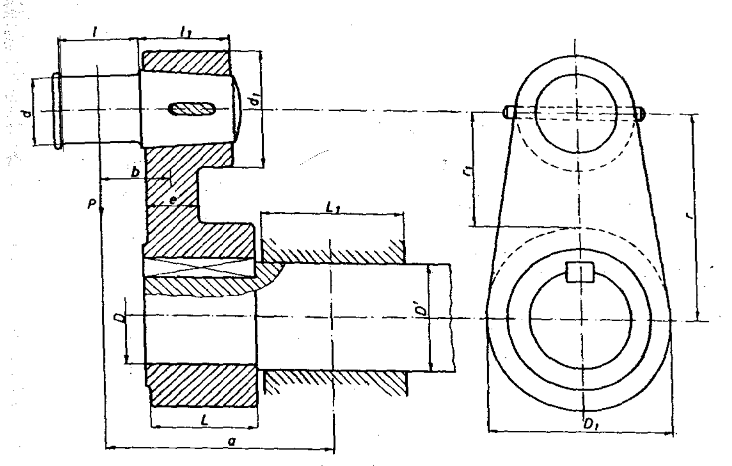
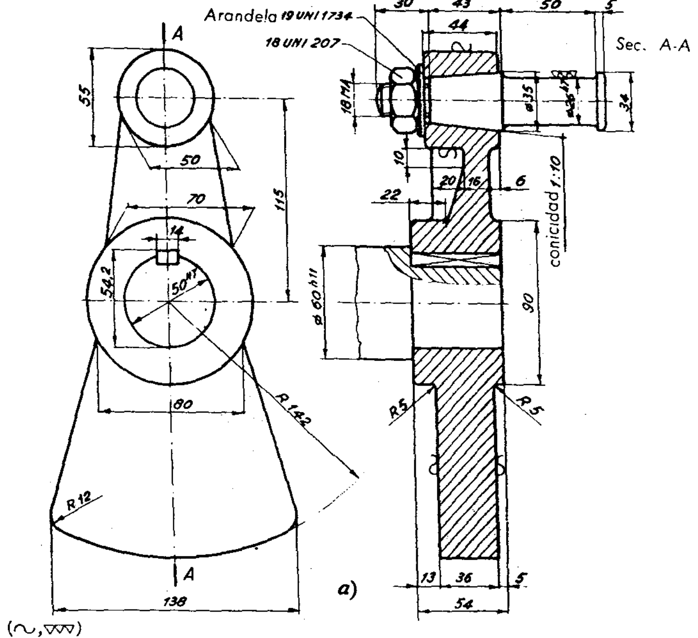


Fig. II, 496. *Manivela de extremo.*

$P = p\ S$
$d = \sqrt{(4{,}5 \div 6{,}5)P/_k}$
$d_1 = (2 \div 2{,}5)\ d$
$l_1 = (1{,}5 \div 1{,}7)\ d$
$a \cong 3{,}5\ d$
$D = \sqrt{10\ Mi/k}$
$D = D - (2 \div 10)\ mm$
$L = (1 \div 1{,}2)\ D$
$e = 0{,}8\ d$



La verificación de la resistencia de la sección de empuje del brazo al **cubo** se hace considerando el conjunto de esfuerzos a **que** está sometida dicha sección, que son: de flexión **por** la acción del momento **P · b**; de tracción por la **acción** de **P**; de *flexión* por la acción del momento $\mathbf{P} \cdot \mathbf{r}_1$ y de *torsión* por la acción de **P·b**.

En la figura II, 497, se representan dos ejecuciones distintas de una manivela del mismo tipo, pero a las que se ha añadido **un** «contrapeso» con objeto de *equilibrar* las masas giratorias. Sobre este tema se darán algunas nociones al tratar de cigüeñales.

Cuando la **manivela** no está en un extremo, es decir cuando está **situada** entre dos soportes, toma una forma parecida **a la** indicada en la figura II, 498 y toma el nombre de **manivela de codo** o **árbol acodado** y también el **de cigüeñal.** El gorrón de la manivela está sostenido **por** dos brazos y está en medio de dos gorrones de **la** bancada, torneados en el árbol motor.

(∾,∇∇∇)

chaveta transversal

Sec. A-A

conicidad 1:10

b)

∇ (∾,∇∇,∇∇∇)

Figs. II, 497 a), b). *Manivelas de extremo con contrapeso.* **a)** *El botón de la manivela va fijado* **al** *brazo mediante encaje cónico y tuerca con arandela.* b) *El encaje* **cónico** *del botón se fija al brazo con una chaveta transversal. En ambos ejemplos, los botones de la manivela están rectificados en la parte que se ajusta al cojinete y dejan el conveniente reborde para que no se mueva de su asiento.*

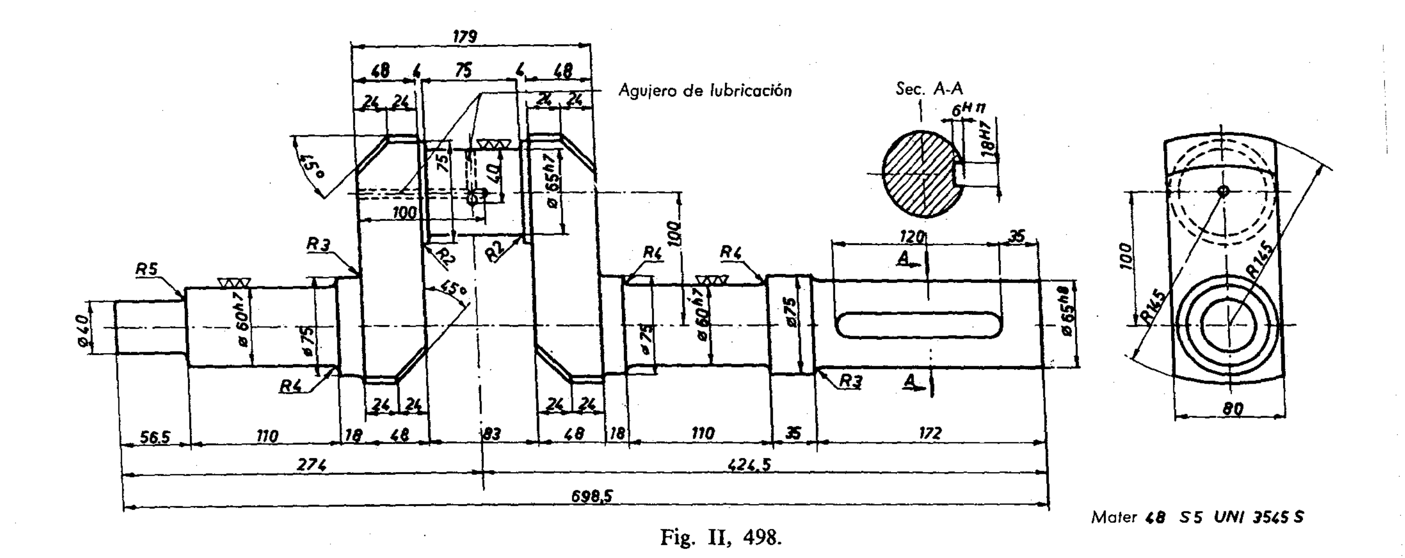
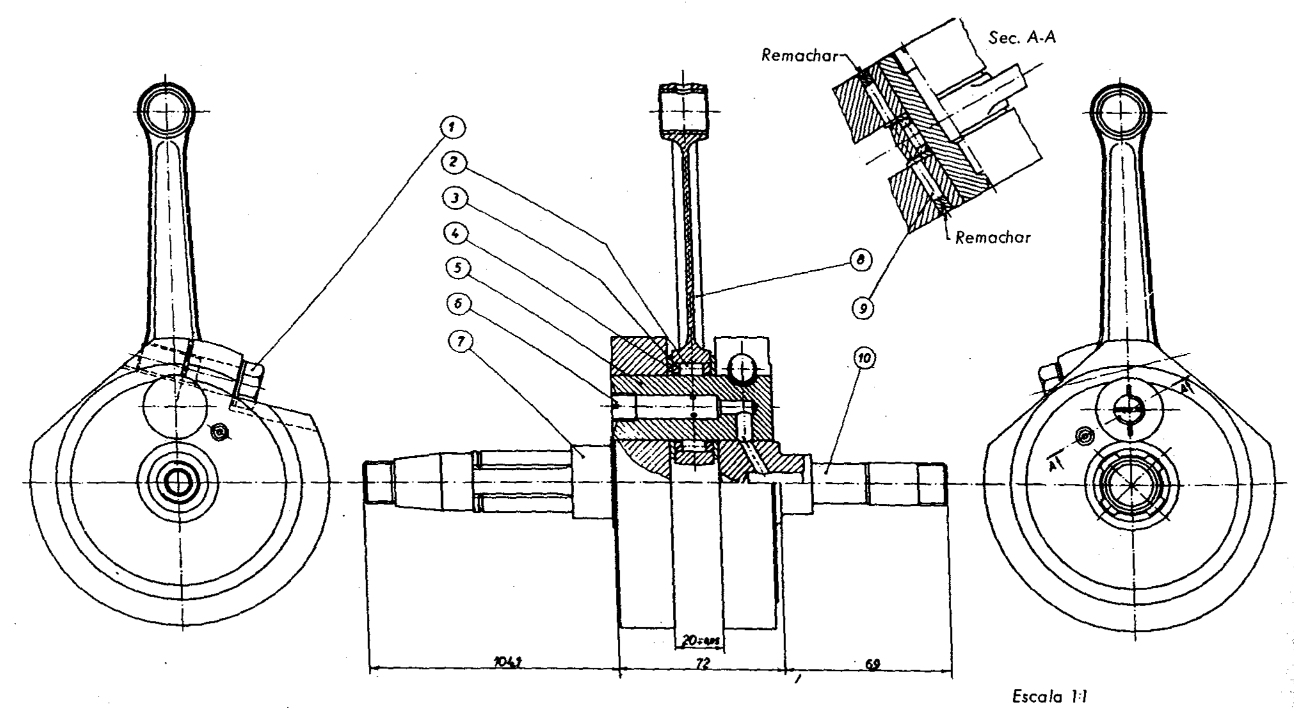


Fig. II, 498.

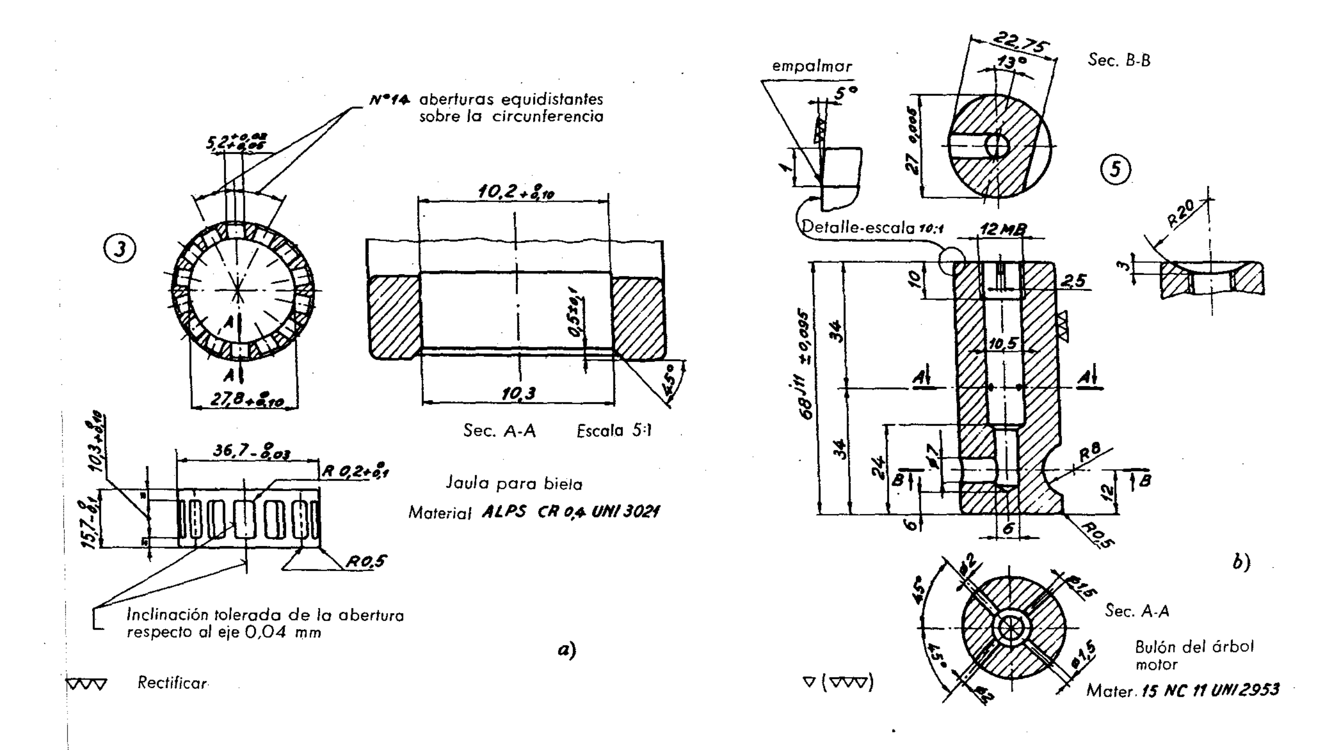
El cigüeñal representado en la figura II, 498, es de una sola pieza y se obtiene por forjado; se emplea en máquinas monocilíndricas de movimiento alternativo. Pero en algunos casos se construyen árboles acodados de varias piezas, como se ve en la figura II, 499. La posibilidad de descomponer el árbol en piezas permite el empleo de cojinetes de rodamiento en la articulación de la cabeza de la biela con el correspondiente gorrón de la manivela: además facilita en gran manera el procedimiento de fabricación, al poderse forjar separadamente las dos mitades del árbol. El gorrón se coloca con ajuste forzado entre los brazos del codo.

Árboles acodados. Cuando el árbol ha de recibir el momento motor de una máquina policilíndrica, el árbol acodado sobre el que se articulan simultánea-



1. Pernos. 2. Agujas. 3. Jaula. 4. Arandelas. 5. Bulón. 6. Tornillo de ajuste. 7-10. Semiárboles. 8. Biela. 9. Pasadores de sujeción

Fig. II, 499. *Árbol motor completo de motocicleta Guzzi con cigüeñal sencillo. El árbol se puede descomponer. El gorrón de la manivela se introduce con ajuste de aprieto entre los brazos, y se fija con tuercas de presión. Los contrapesos forman una pieza con los brazos del codo del cigüeñal y, como se ha indicado, tienen la función de equilibrar las masas que giran alrededor del eje del árbol. En la página siguiente se representan varios detalles del conjunto. Debajo de la figura se han puesto los nombres de las diferentes partes.*



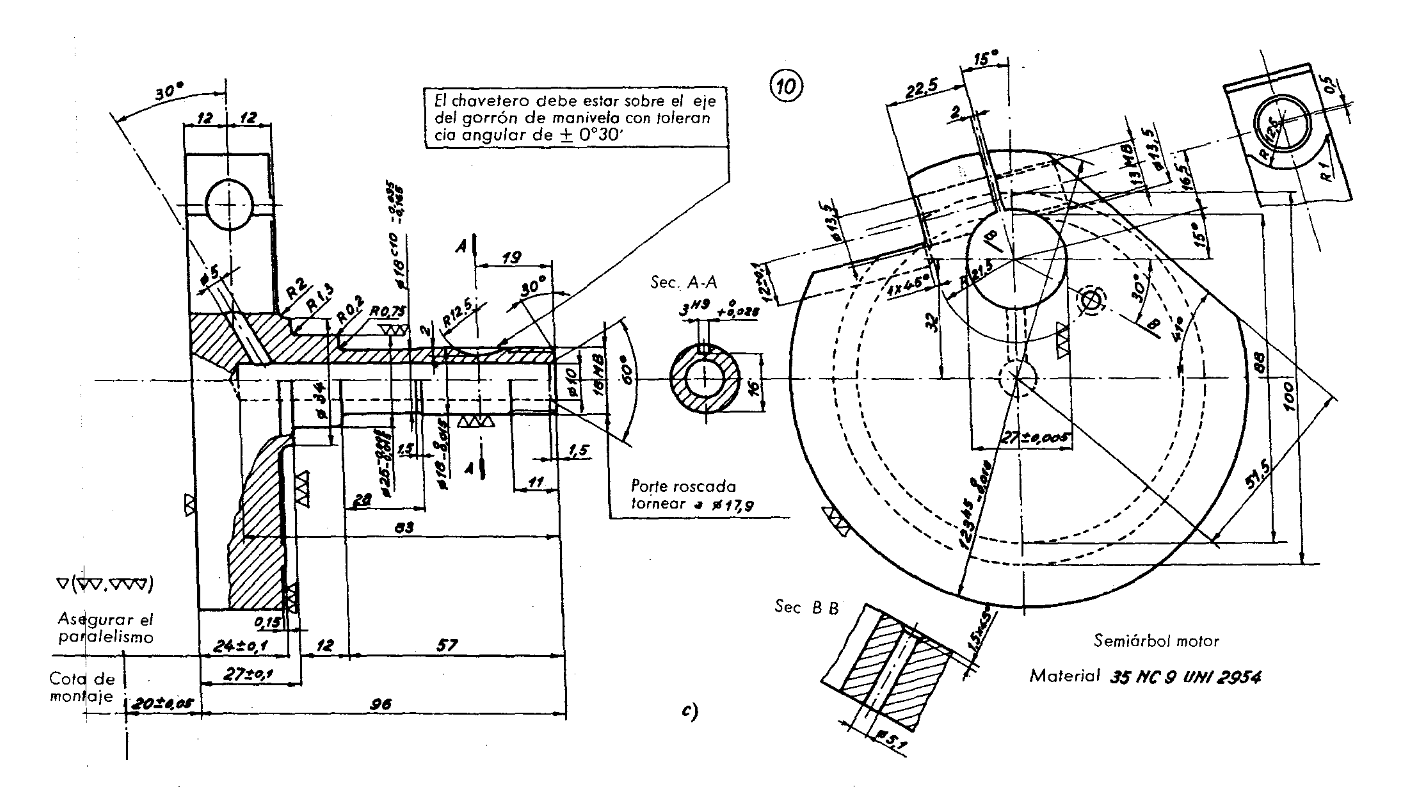


Fig. II, 500 a), b), c). *Detalles* 3, 5, 10 *del conjunto de la* figura II, 499.

mente varias bielas, toma una forma muy particular, de la cual presentan dos ejemplos las figuras II, 501-502. A cada biela que se articula con el árbol ha de corresponder evidentemente un gorrón de manivela; por lo tanto, se tendrá un adecuado número de gorrones de apoyo proporcionado a la potencia y características del motor. Tanto los gorrones de los codos del árbol como los de apoyo, han de estar repartidos en relación con los esfuerzos a que está sometido y de manera que resulte un momento motor uniforme. Sin entrar en detalles sobre la teoría del equilibrado de árboles acodados o cigüeñales, indicaremos que hay dos clases de **equilibrado**, llamados respectivamente **estático** y **dinámico.**

Se dice que un árbol está **equilibrado estáticamente** *cuando el centro de gravedad de las masas en rotación alrededor del árbol, está situado en el eje de rotación de dicho árbol,* de forma que el árbol esté en *equilibrio indiferente,* respecto a su rotación, bajo la acción de la gravedad. En estos casos la resultante de las fuerzas de inercia es cero; *pero generalmente no es cero el par resultante de dichas fuerzas* (se sabe por la mecánica que todo sistema de fuerzas se puede reducir a una fuerza y un par).

Se dice que un árbol está **equilibrado dinámicamente,** cuando además de ser nula la resultante de las fuerzas de inercia (equilibrio estático) *es también nulo el par resultante de dichas fuerzas de inercia,* producidas cuando el árbol gira a *velocidad constante.*

Se consiguen ambos equilibrados, indispensables para el funcionamiento regular del motor, disponiendo convenientemente los codos que representan otros tantos botones de manivela de forma que satisfagan las condiciones de repartición uniforme de los ciclos térmicos de cada cilindro y añadiendo contrapesos de masa y colocación adecuadas.

Es evidente que el equilibrado estático interesa al árbol en conjunto; en cambio el equilibrado dinámico interesa a cada codo en que se puede considerar dividido el árbol por los correspondientes soportes, cuya posición, por tanto, ha de ser estudiada cuidadosamente por expertos proyectistas. Estas consideraciones explican la diversidad de formas y configuraciones de los cigüeñales, según los diversos casos.

Los cigüeñales se obtienen generalmente por forjado con martillo pilón, aunque a veces se obtienen torneando una barra y también, modernamente, por fusión de aleaciones de ferroníquel (fundición esferoidal 30, no unificada).

Los materiales empleados generalmente en los cigüeñales de acero son *aceros especiales al carbono, aleados, para cementar* **(UNI 2953)** o *bonificar* **(UNI 2954).** Se verán ejemplos más detallados al final de la parte III (*Materiales*).

Estos árboles se fabrican de una sola pieza (figs. II, 501-502) o de varias piezas (fig. II, 503), convenientemente unidas entre sí, por sistemas adecuados, a los motores a que van aplicados. Los árboles de varias piezas están estudiados de forma que se logre en lo posible que las piezas sean iguales y se puedan montar

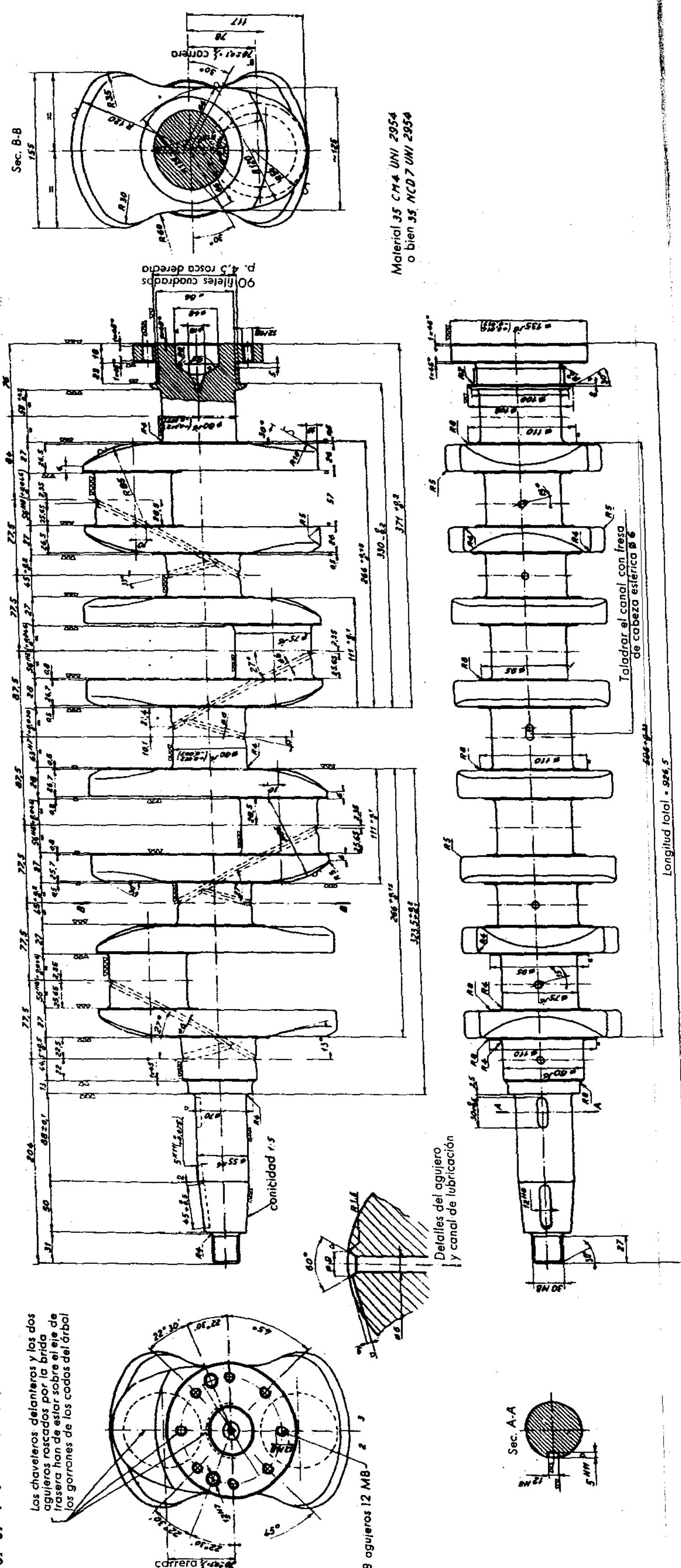


Fig. II, 501. *Cigüeñal de una sola pieza (motor diesel Alfa Romeo).*

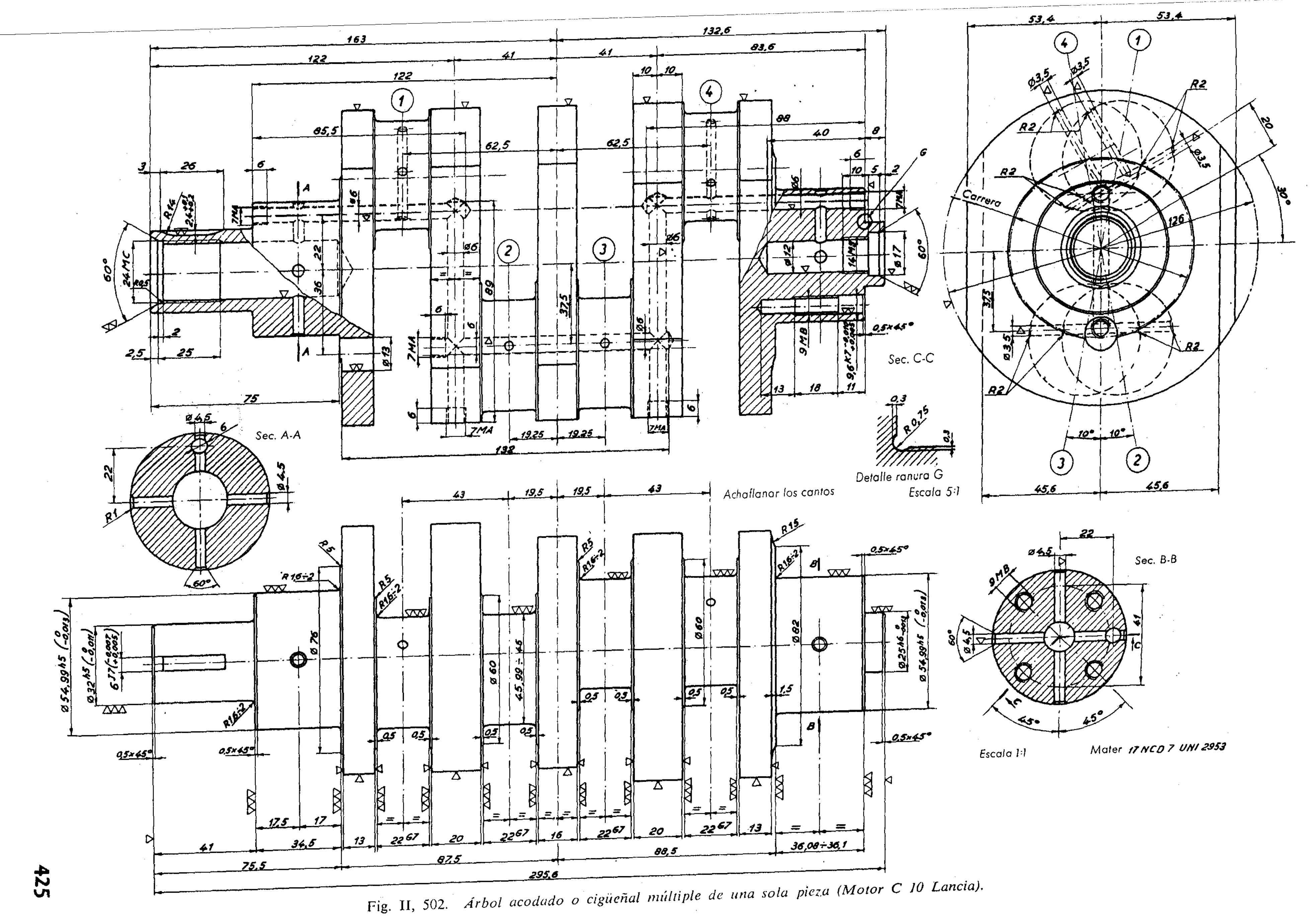


Fig. II, 502. *Árbol acodado o cigüeñal múltiple de una sola pieza (Motor C 10 Lancia).*

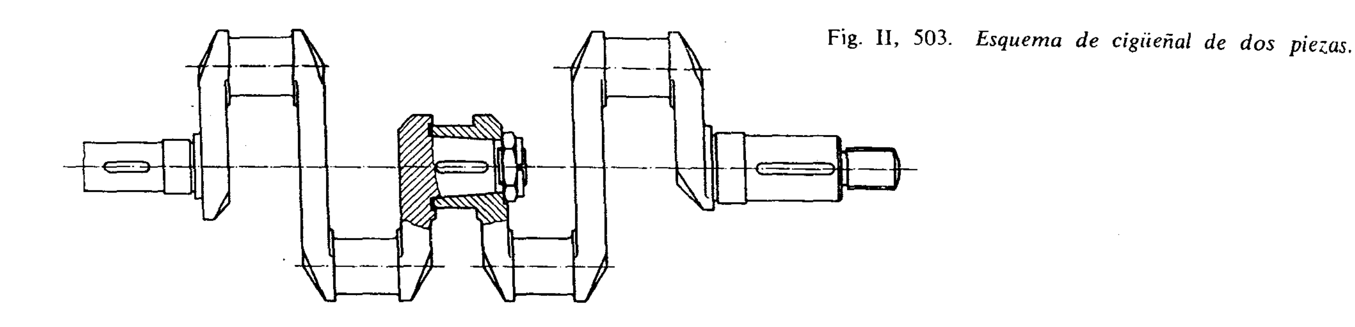


Fig. II, 503. *Esquema de cigüeñal de dos piezas.*

dando a los árboles la configuración que se desea.

El mecanizado de los cigüeñales ha de ser de gran precisión en todas las partes que han de responder a exigencias cinemáticas muy exactas. De ahí la necesidad de que, por ejemplo, todos los gorrones, tanto de biela como de apoyo, se hayan de rectificar; sobre ellos se han de montar los cojinetes de deslizamiento o de rodamiento si el árbol se ha proyectado de modo que sea posible montar dichos cojinetes.

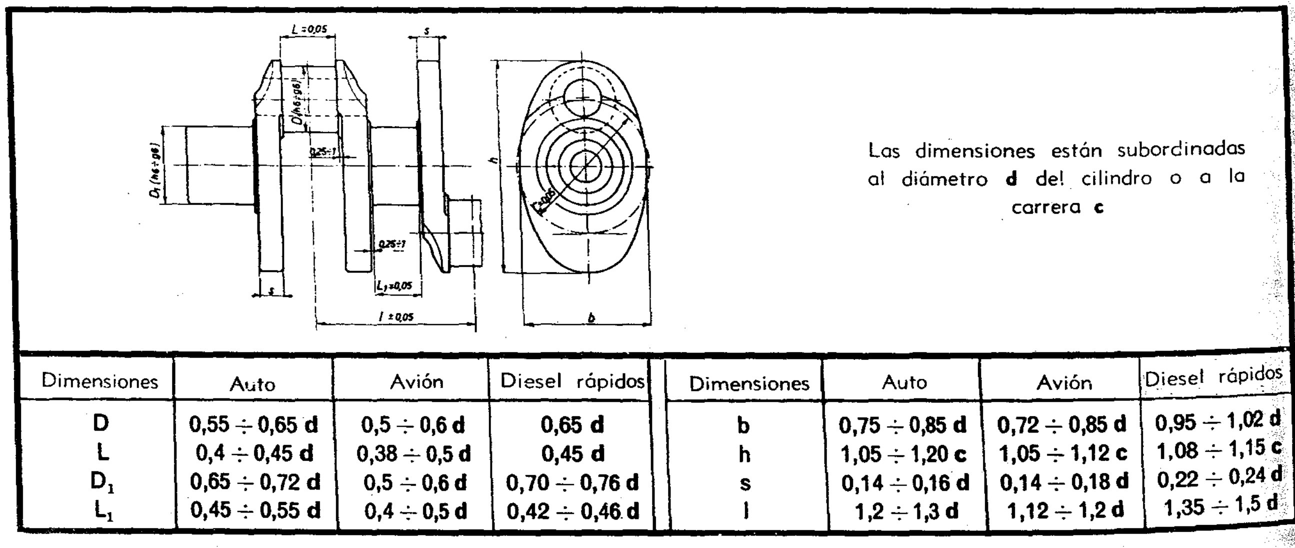
Con frecuencia se mecanizan también los brazos de los codos, pero en otros casos se dejan en bruto.

Para los cigüeñales el problema de la lubricación es de capital importancia, tanto en los gorrones de los codos como en los de apoyo, que además de la función de disminuir el coeficiente de rozamiento, tienen la de esparcir el calor desarrollado por rozamiento. Esta lubricación se efectúa mediante las adecuadas ranuras practicadas en el árbol, dispuestas de forma que el aceite, partiendo del punto de menor presión, se distribuya por todos los puntos de fricción, y no se expulse hasta haber cumplido su cometido. Estos problemas se han de resolver generalmente por proyectistas especializados.

En la figura II, 498 penetra el lubricante por agujeros claramente visibles; en las figuras II, 501-502 se puede ver la aplicación de otro sistema constituido por pequeños canales interiores que atraviesan el cigüeñal llevando el aceite de un cojinete a otro, con lo que se asegura, además de la lubricación, la dispersión del calor.

Las acotaciones en los dibujos de cigüeñales para varios cilindros se han de hacer por el método en paralelo, para evitar que se acumulen las tolerancias parciales de las cotas paralelas al eje. No obstante, puesto que sólo interesa una tolerancia muy restringida para algunas partes, se acostumbra emplear la acotación mixta, destacando las distancias entre los ejes, que son las dimensiones de mayor importancia y sobreentendiéndose que las dimensiones para las que no se ha fijado tolerancia, han de compensar la influencia de las tolerancias, de forma que las dimensiones efectivas totales resulten comprendidas dentro de los límites exigidos.

En la pequeña tabla de la figura II, 504 se han anotado algunos datos relativos a las dimensiones de los cigüeñales.



Dimensiones	Auto	Avión	Diesel rápidos	Dimensiones	Auto	Avión	Diesel rápidos
D	0,55 ÷ 0,65 d	0,5 ÷ 0,6 d	0,65 d	b	0,75 ÷ 0,85 d	0,72 ÷ 0,85 d	0,95 ÷ 1,02 d
L	0,4 ÷ 0,45 d	0,38 ÷ 0,5 d	0,45 d	h	1,05 ÷ 1,20 c	1,05 ÷ 1,12 c	1,08 ÷ 1,15 c
D_1	0,65 ÷ 0,72 d	0,5 ÷ 0,6 d	0,70 ÷ 0,76 d	s	0,14 ÷ 0,16 d	0,14 ÷ 0,18 d	0,22 ÷ 0,24 d
L_1	0,45 ÷ 0,55 d	0,4 ÷ 0,5 d	0,42 ÷ 0,46 d	l	1,2 ÷ 1,3 d	1,12 ÷ 1,2 d	1,35 ÷ 1,5 d

Fig. II, 504. *Proporciones de los árboles acodados.*

94. Bielas

Una biela es, esquemáticamente, una barra de acero, articulada por un extremo *(cabeza de la biela)* al botón o gorrón de la manivela y por el otro *(pie de la biela)* a la cruceta o al bulón del émbolo. Este órgano es el que transmite y transforma el movimiento rectilíneo alternativo del émbolo en el movimiento circular del botón de la manivela. Su movimiento, desde el punto de vista cinemático, se estudia en la mecánica aplicada a las máquinas, por lo cual sale fuera del campo del presente texto; pero se comprende fácilmente que, siempre que la longitud de la biela sea suficientemente grande con respecto a la longitud de la manivela, se puede prescindir de la inclinación variable de la biela durante su movimiento y considerar con aproximación suficiente que el pie de la biela, articulado con el émbolo, se mueve con movimiento armónico. La cabeza, por su articulación con el botón de la manivela, adopta el movimiento circular, que se compone con el movimiento alternativo resultante del que posee el pie de la biela.

En consecuencia, el movimiento complejo de la biela hace que se vea sometida (y someta a su vez al cigüeñal a que está unida) a esfuerzos dinámicos o fuerzas de inercia que dependen de su velocidad y de su peso. Resulta pues evidente que la forma de la biela y la repartición de su masa ha de ser muy diferente según que esté aplicada a un motor lento (locomotora, diesel lento, motor alternativo, compresor, etc.), o bien a un motor rápido (motores de gran número de revoluciones, por ejemplo, para automóviles y motocicletas). A continuación se expondrán, desde un punto de vista general, las características de las bielas lentas y de las bielas rápidas. Se llama explícitamente la atención del lector sobre el hecho de que no haya apenas tipos de bielas, por cuanto en cada caso particular se encargan de proyectarlas técnicos especializados, que darán, si es necesario, instrucciones a los dibujantes. Por esto nos limitaremos a dar las breves nociones que seguirán, con el único objeto de que el dibujante conozca las diversas formas que toman las bielas en los casos típicos y los problemas normales que se pueden presentar en el montaje y que ha de tener presente el dibujante.

Bielas lentas. El problema de su peso, debido a la poca velocidad y a las fuerzas de inercia que de ella se derivan, tiene, evidentemente, menos importancia que en las bielas rápidas. Por lo mismo las formas adoptadas son más simples, su acabado más basto y los materiales empleados de menos calidad.

Para el cuerpo se adopta por lo general la sección rectangular, aligerada o no (fig. II, 505): en algunos casos es cilíndrico o tubular, con amplio enlace con la cabeza de la biela. Para el pie se adopta la forma cerrada, formando una sola pieza con el cuerpo; la cabeza lleva generalmente un sombrerete unido al cuerpo mediante órganos adecuados (espárragos, pernos, etc.) figura II, 506. Hay bielas con toda la cabeza desmontable respecto al cuerpo. En la unión del som-

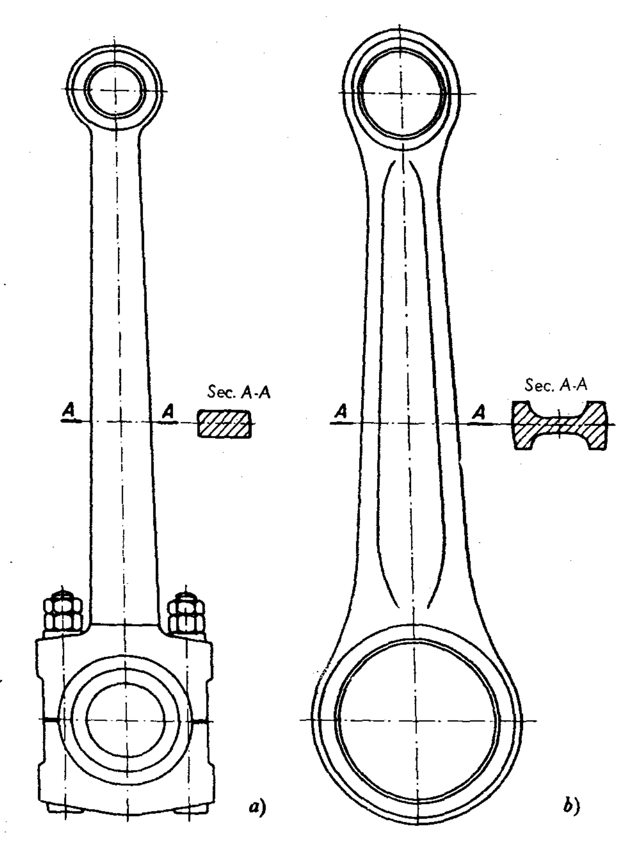


Fig. II, 505. a) *Esquema de biela de sección rectangular, sin aligerar, para motor lento.* b) *Esquema de biela de sección rectangular, aligerada, para motor lento.*

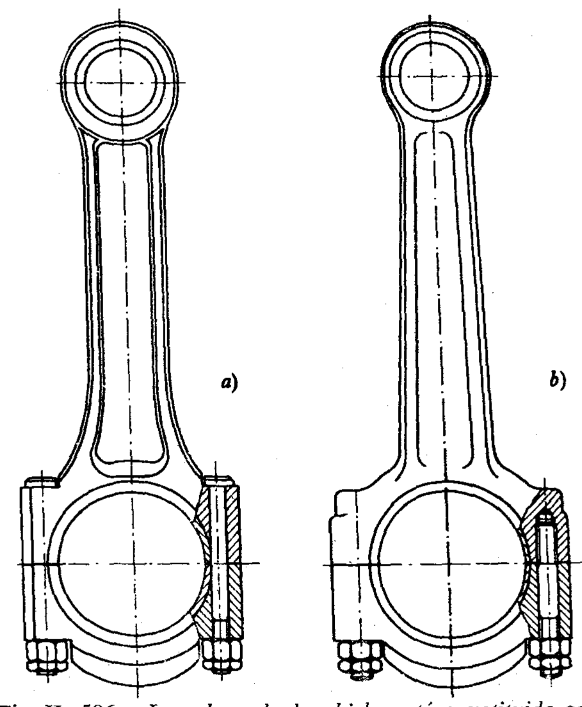


Fig. II, 506. *La cabeza de las bielas está constituida generalmente por dos partes, unidas por pernos pasantes* a), *o por espárragos* b).

brerete o de toda la cabeza con el cuerpo, se intercalan a veces unas hojillas metálicas, con objeto de ajustar la distancia entre el pie y la cabeza de la biela, según la relación de compresión deseada.

Existen en cambio bielas en que la cabeza y el cuerpo son de una sola pieza: es evidente que este tipo de biela sólo se puede emplear cuando hay la posibilidad de montar la cabeza de la biela sobre el botón de la manivela del árbol acodado o cigüeñal, posibilidad que se presenta cuando el cigüeñal se puede descomponer, o cuando el montaje biela-botón de manivela se efectúa con interposición de agujas. En este último caso, el amplio juego entre el ojo de la cabeza y el botón de manivela permite montar la biela en el botón, haciendo pasar en el ojo de la biela las agujas.

El pie de la biela lleva siempre un casquillo de bronce en su articulación con el bulón. Este casquillo no está recubierto de metal antifricción, porque éste no podría resistir la elevada presión unitaria que se ejerce sobre el casquillo en el funcionamiento (fig. II, 507).

Falta señalar todavía algún detalle constructivo de cierta importancia sobre las bielas. Se ha dicho que el ojo de la cabeza de la biela está formado nor-

Ojo de la biela
Casquillo de bronce
Bulón

Fig. II, 507. *Entre el bulón y el ojo de la biela se interpone un casquillo de bronce.*

malmente por dos partes; una que forma una pieza con el cuerpo; la otra es el sombrerete, unido a la primera con tornillos o pernos. Ambas partes se forjan generalmente unidas, es decir, formando una sola pieza con el cuerpo: luego se separan con un corte y se mecanizan las superficies de contacto. Se montan después las dos piezas y se mecaniza el ojo de la cabeza, para tener la seguridad de que ambas piezas ajustarán exactamente en el funcionamiento. Los tornillos de unión, además de su función de unir cuerpo y sombrerete, tienen la de hacer de guía para un ajuste perfecto de ambas partes; para ello presentan estas partes tres superficies rectificadas que en el acto del montaje sirven de guía al sombrerete en los agujeros previamente escariados.

A veces se emplean espárragos en lugar de los pernos de unión; otras veces la unión se efectúa con tornillos que forman una sola pieza con el cuerpo de la biela.

Una vez montados los tornillos de unión, conviene evitar la rotación de las respectivas cabezas, lo cual se consigue mediante anillos de asiento o dientes que se encajan en huecos adecuados practicados en el sombrerete.

Las tuercas, generalmente de tipo especial, se aseguran en el montaje con pasadores de aletas.

Los cojinetes del ojo de la cabeza son casi siempre de dos piezas y recubiertos de metal antifricción;

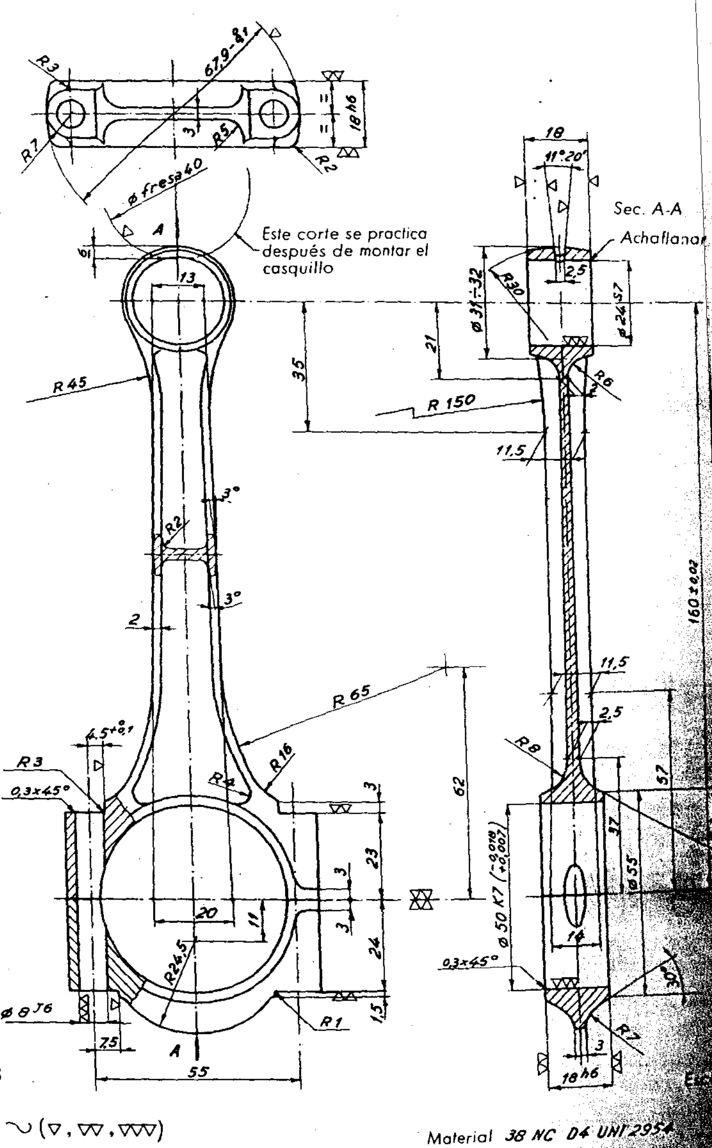


Fig. II, 508. *Biela del motor C 10-Lancia.*

su montaje se ha de efectuar de manera que no puedan girar en su asiento.

Bielas rápidas. Para estas bielas se adopta corrientemente para el cuerpo la sección en forma de H o doble T, con las alas dispuestas en la forma que indican claramente las figuras II, 508-511.

La forma de esta sección le da una gran rigidez junto con una notable ligereza. El alma de la doble T se refuerza a veces para enlazarla con la cabeza.

También se refuerza a veces el sombrerete con unos nervios para darle más rigidez y poder resistir el llamado latigazo.

Los demás elementos no se diferencian esencialmente de los ya descritos con anterioridad para las bielas más lentas.

En las locomotoras, las bielas tienen por objeto acoplar las ruedas motrices: en este caso la función de las bielas es constituir uno de los lados del cuadrilátero articulado. Por tratarse de un tipo de biela de empleo muy restringido y cuyo estudio está relacionado con otros problemas particulares de las locomotoras (por ejemplo, los contrapesos de las ruedas), no creemos necesario extendernos sobre este tema ni presentar dibujos de dichas bielas.

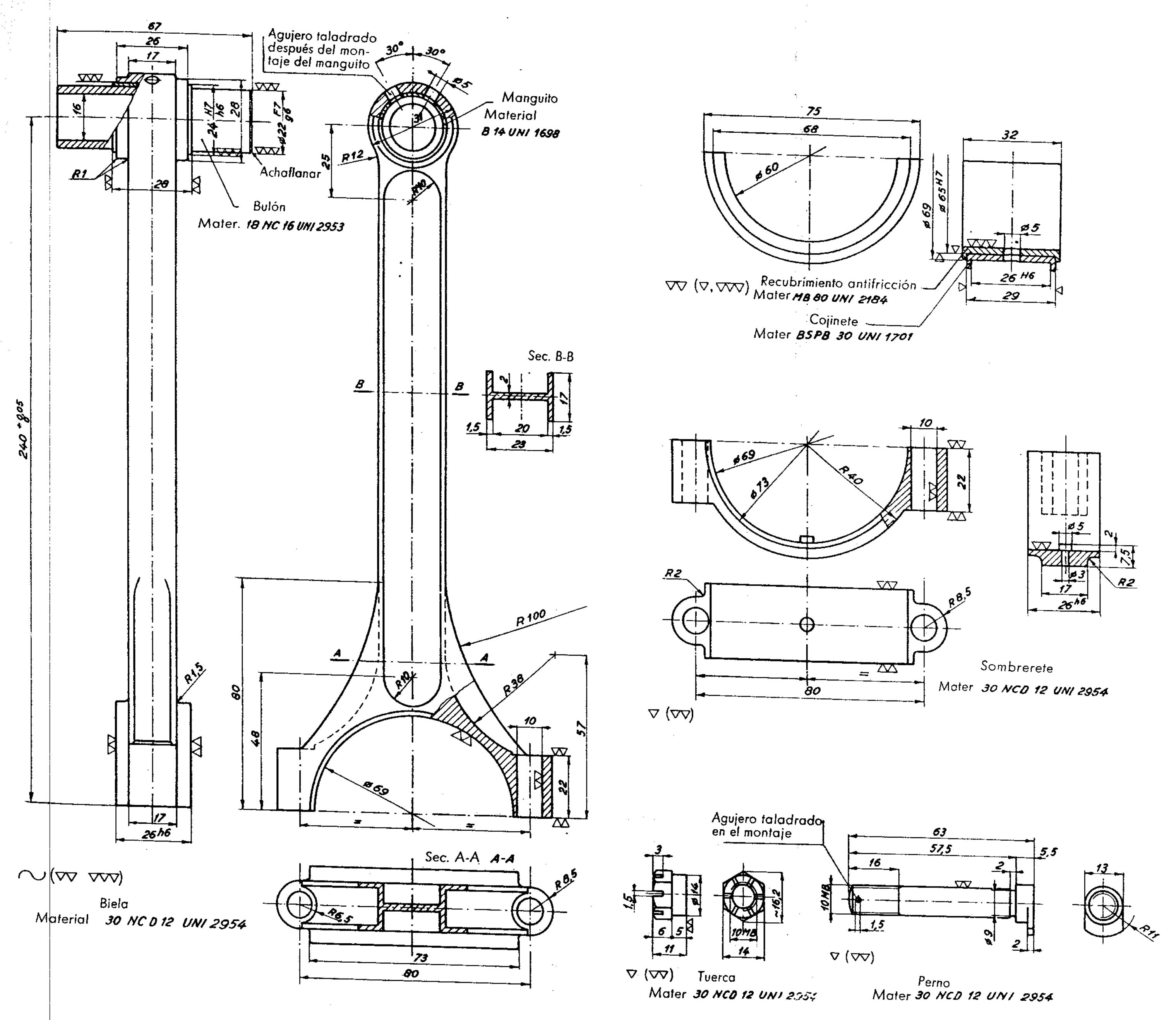


Fig. II, 509. *Biela desmontada con los detalles correspondientes.*

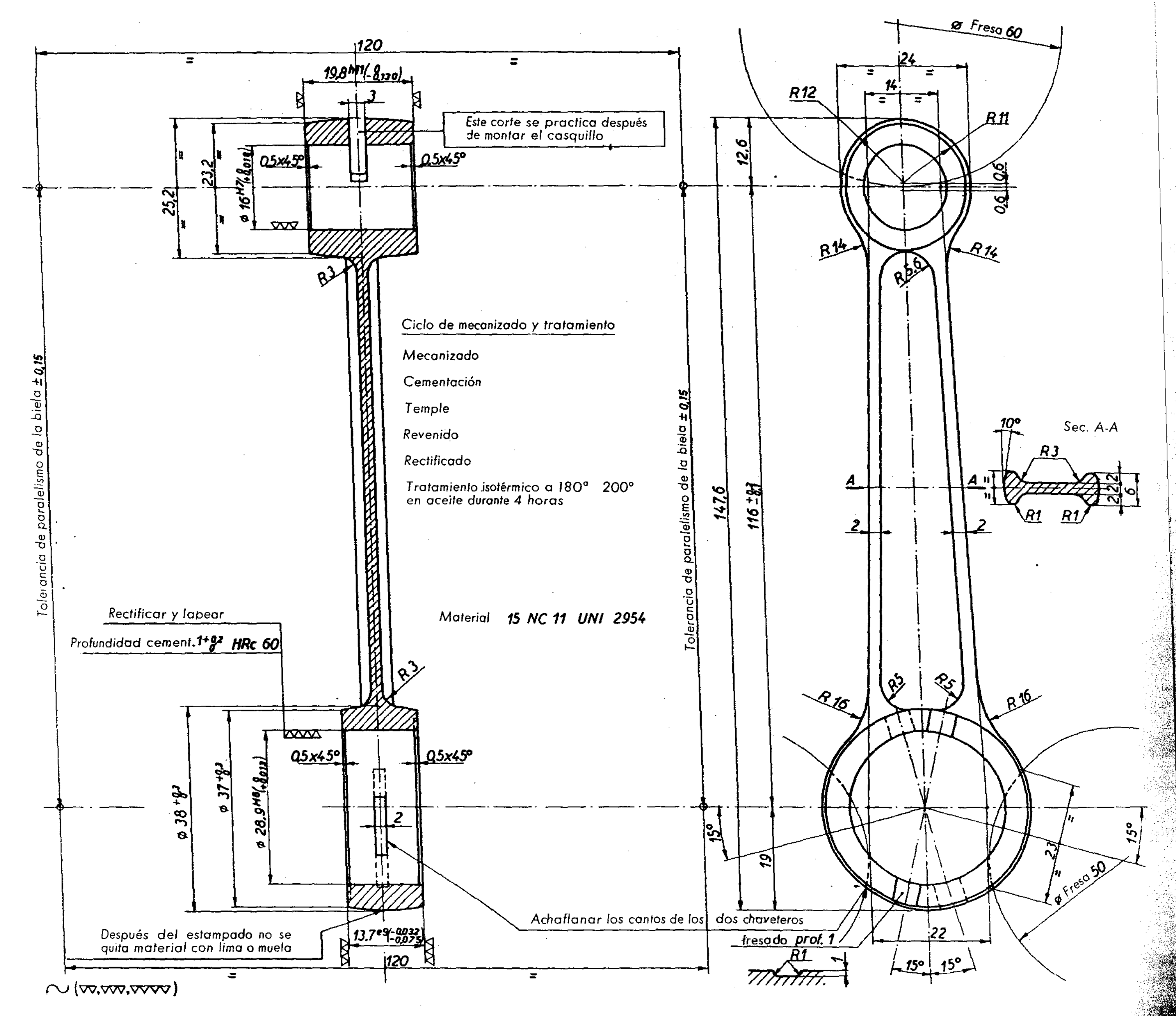


Fig. II, 510. *Biela acotada con cabeza de una sola pieza.*

Bielas especiales. Así se pueden denominar las bielas que toman formas diversas debido a la disposición especial de los cilindros. No siéndonos posible tratar extensamente este tema, nos limitaremos a la simple consideración de los tipos ilustrados en las figuras.

En la figura II, 512 se ha dibujado el esquema de un motor de aviación de cilindros en V: puesto que cada par de cilindros actúa sobre el mismo codo del cigüeñal, los émbolos de los dos cilindros tienen sus bielas articuladas entre sí. La **bieleta** de la derecha del esquema se articula con un agujero practicado en la cabeza de la biela del cilindro de la izquierda; por esto se llama esta biela **biela maestra.** En la figura se ve la forma corriente de la biela maestra y su correspondiente bieleta. Este mecanismo tiene el inconveniente de que la carrera del émbolo del cilindro de la izquierda no es igual a la del émbolo del cilindro de la derecha, y son también diferentes los esfuerzos que han de soportar las dos bielas. La bieleta tiene una forma sencilla, como se ve en la figura II, 513.

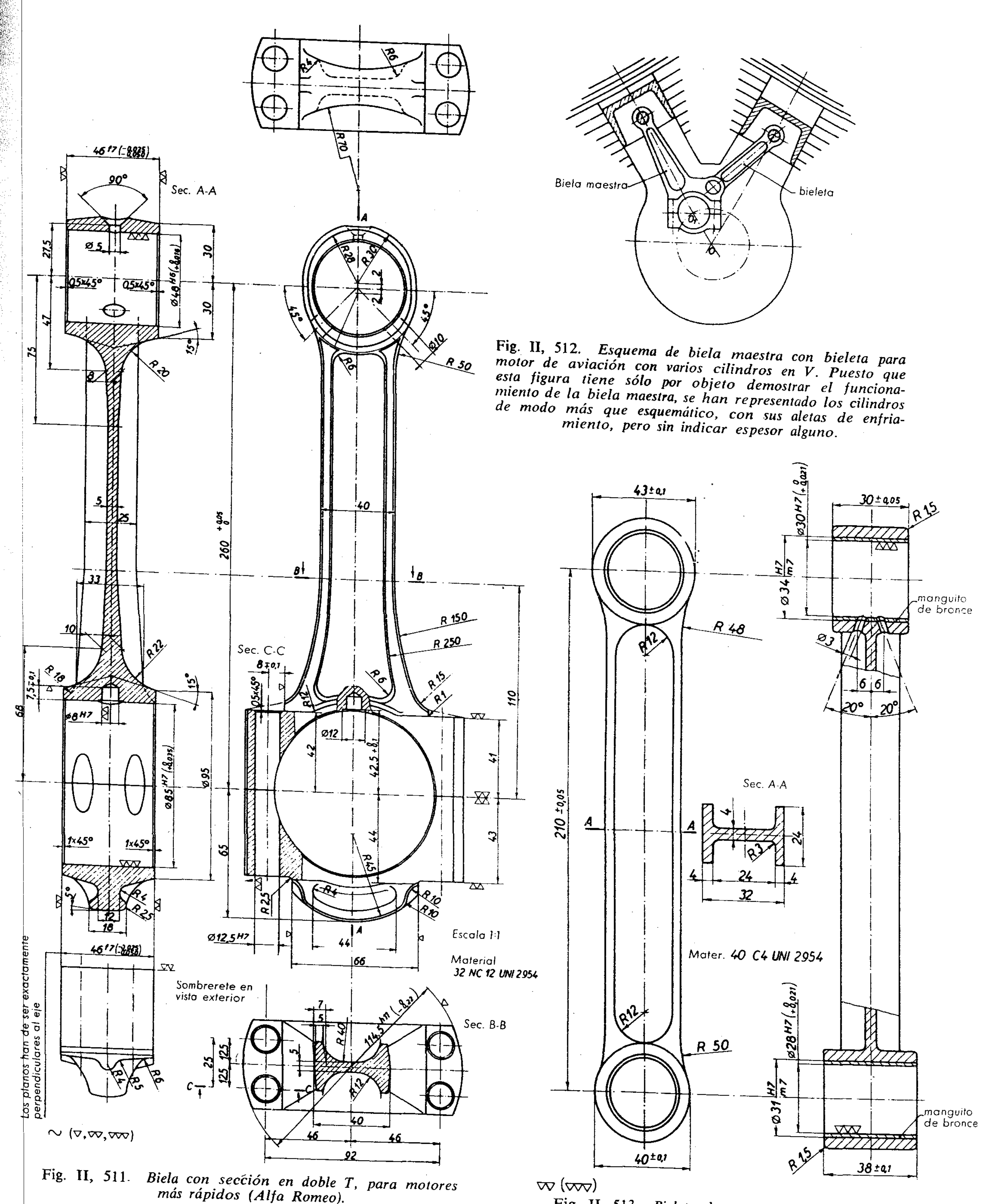


Fig. II, 512. *Esquema de biela maestra con bieleta para motor de aviación con varios cilindros en V. Puesto que esta figura tiene sólo por objeto demostrar el funcionamiento de la biela maestra, se han representado los cilindros de modo más que esquemático, con sus aletas de enfriamiento, pero sin indicar espesor alguno.*

Fig. II, 511. *Biela con sección en doble T, para motores más rápidos (Alfa Romeo).*

Fig. II, 513. *Bieleta de motor de aviación.*

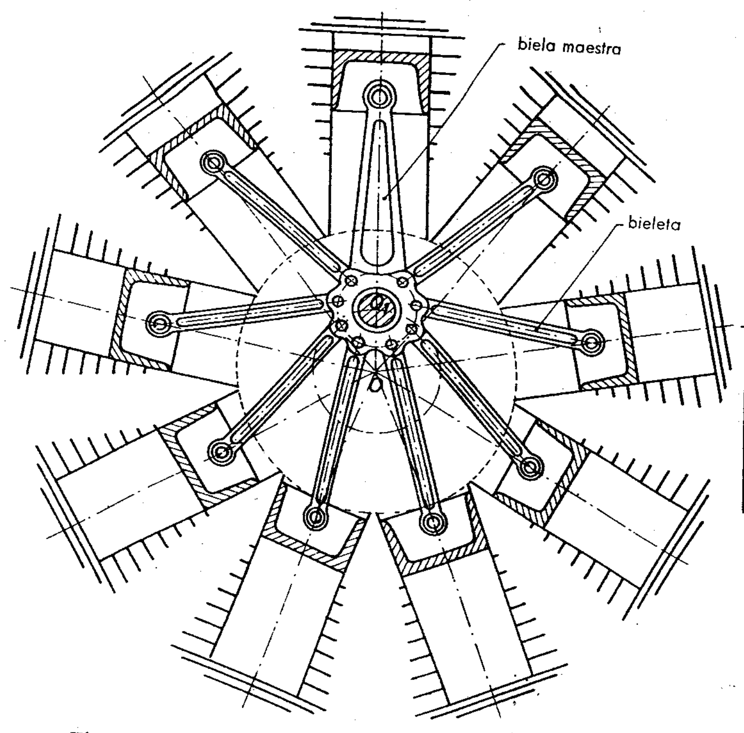


Fig. II, 514. *Esquema de biela maestra cerrada con bieletas, para motor de aviación en estrella. Para esta figura vale la misma observación de la* figura II, 512.

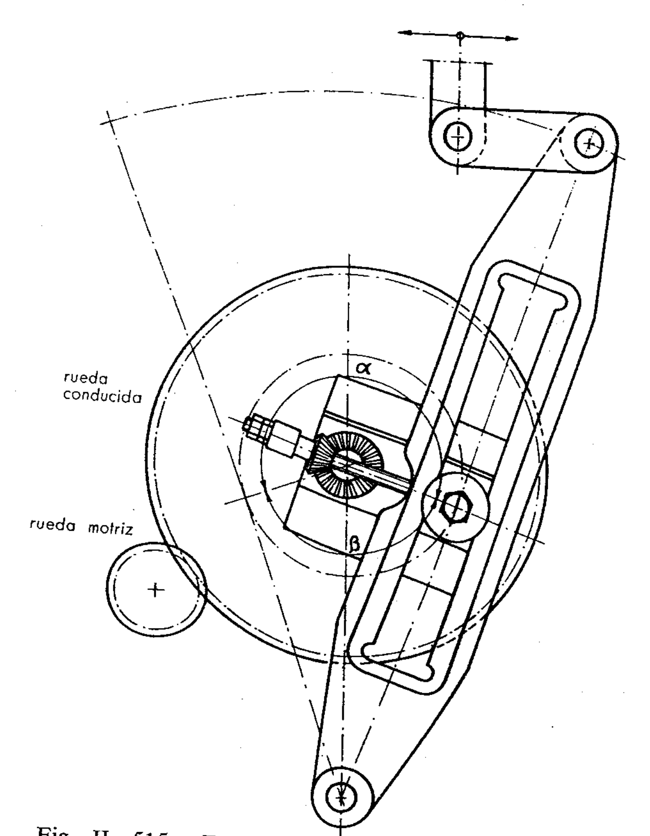


Fig. II, 515. *Esquema de mecanismo de balancín para limadora.*

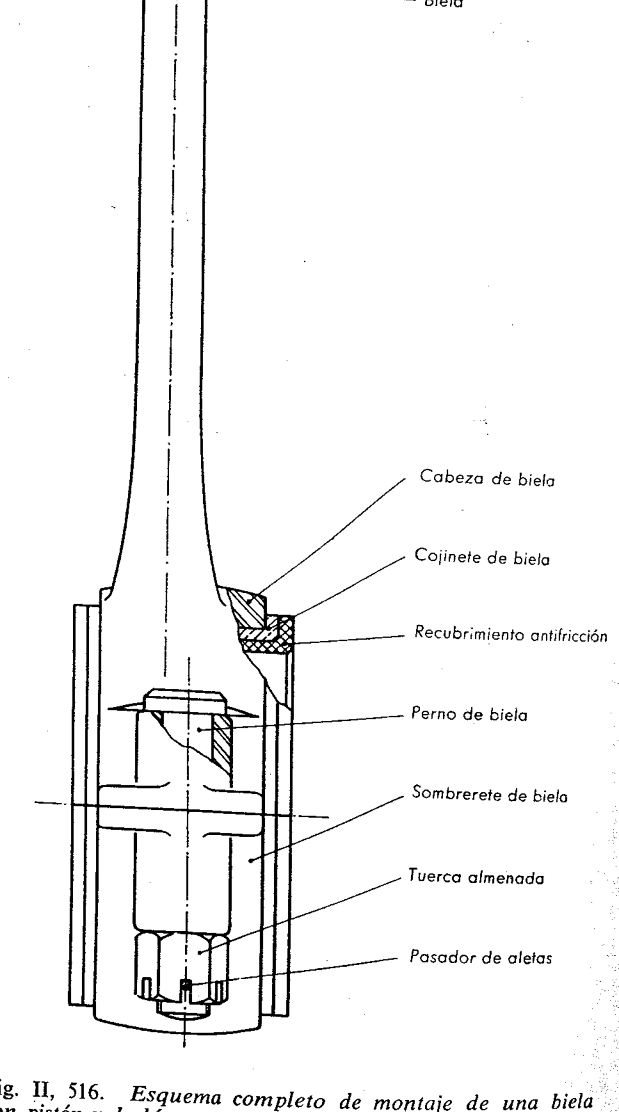


Fig. II, 516. *Esquema completo de montaje de una biela con pistón y bulón; se puede ver claramente el recubrimiento antifricción del cojinete de la cabeza de la biela.*

En la figura II, 514 se reproduce en esquema, a escala reducida, una biela maestra cerrada, para motores de aviación en estrella. Las articulaciones de las bieletas con la biela maestra están dispuestas de forma que las bielas de todos los cilindros puedan ser iguales: el estudio de las excentricidades de cada articulación es de competencia de proyectistas especializados.

El mecanismo de biela y manivela puede servir también para la conversión del movimiento circular en movimiento rectilíneo alternativo. Con este objeto puede emplearse también el mecanismo de la figura II, 515 (balancín) empleado en todas las limadoras, entre otras aplicaciones.

En la figura II, 516 se reproduce el esquema completo del montaje de una biela con el émbolo y el bulón.

95. Crucetas y patines

Como se sabe por la mecánica aplicada, el vástago del émbolo de una máquina de vapor lenta y el pie de la biela se unen por medio de la **cruceta,** órgano que se desliza con sus **patines** a lo largo de guías o deslizaderas, obligando al pie de la biela a seguir la trayectoria rectilínea deseada. Esta guía del extremo del vástago del émbolo es necesaria, porque cuando el émbolo tiene poca longitud, tendría una superficie de guía insuficiente.

En la figura II, 517 se representa una cruceta. Los patines pueden tener las superficies de contacto con las deslizaderas planas o cilíndricas, estando o no recubiertas de metal antifricción.

Dado que las superficies de contacto entre patines y deslizaderas soportan la componente normal de la fuerza que transmite el émbolo a la biela (o viceversa), es necesario que dichas superficies estén calculadas para que la presión unitaria sobre las mismas esté comprendida entre 3 y 6 kg/cm², y sólo en casos excepcionales llegar a 8 kg/cm². Dichas superficies han de estar perfectamente lubricadas.

El cuerpo de la cruceta es generalmente de hierro o acero fundido; en algunos casos está forjado. Los patines pueden ser de una pieza con el cuerpo o estar fijados al mismo.

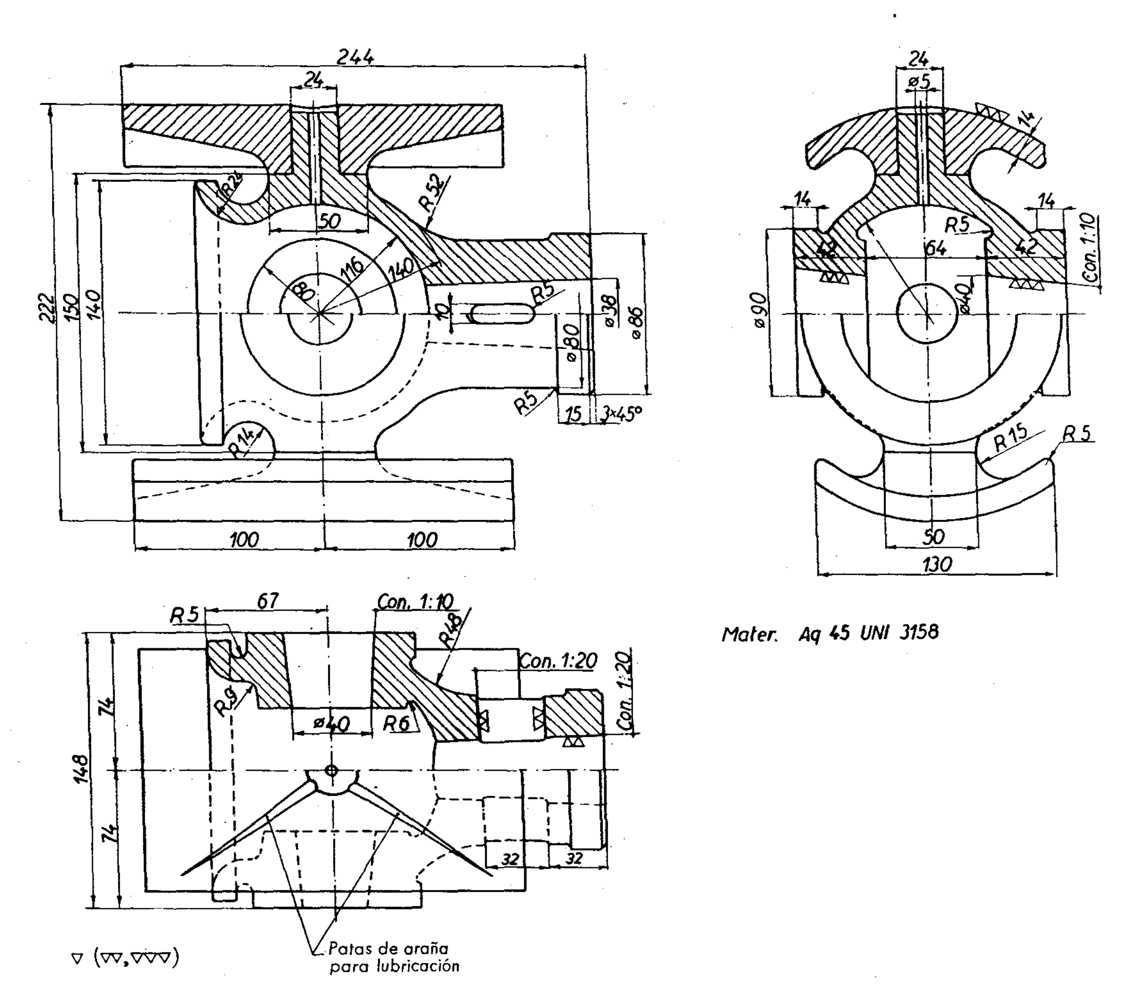


Fig. II, 517. *Cruceta con patines encajados y deslizadera cilíndrica.*

96. Cilindros y émbolos (o pistones)

El cilindro y el émbolo son los elementos principales de las máquinas de movimiento alternativo, tanto si se trata de máquinas accionadas (bombas, compresores), como motrices (de vapor, de combustión interna). Estos dos elementos están constituidos para determinar, como se sabe, la cámara en que el fluido motor cumple su ciclo de trabajo.

En el caso de máquinas accionadas, el pistón comprime el fluido en el cilindro, que está dispuesto para que la presión pueda utilizarse para trasladar dicho fluido; en el caso de máquinas motrices, el fluido, desarrollando en la cámara cilindro-pistón la energía potencial que posee, correspondiente a su presión, transmite al pistón la energía que éste comunica al pie de la biela.

Un examen detallado de las diversas formas que pueden tomar el pistón y el cilindro, en los variados tipos de máquinas, en relación con la función que han de cumplir, cae naturalmente fuera de los límites del presente texto. No obstante parece conveniente dar una breve noticia de las ejecuciones más corrientes que se presentan en las máquinas motrices.

Cilindros. El cilindro, en su forma esquemática, es un cilindro hueco que ha de contener el fluido activo y permitir el deslizamiento y la guía del pistón: por lo cual, las paredes interiores del cilindro han de estar perfectamente pulidas, para ofrecer la mínima resistencia de rozamiento al movimiento del pistón. En el caso de las máquinas de vapor, el cilindro es generalmente de fundición y está provisto de las lumbreras necesarias para la admisión y escape del vapor. Estos cilindros pueden ser de simple o de doble efecto: en el primer caso llevan una tapa en un extremo; en el segundo caso hay una tapa en cada extremo del cilindro.

En los motores de combustión interna, presenta el cilindro características constructivas muy variadas, tanto en relación con el ciclo característico de dichos

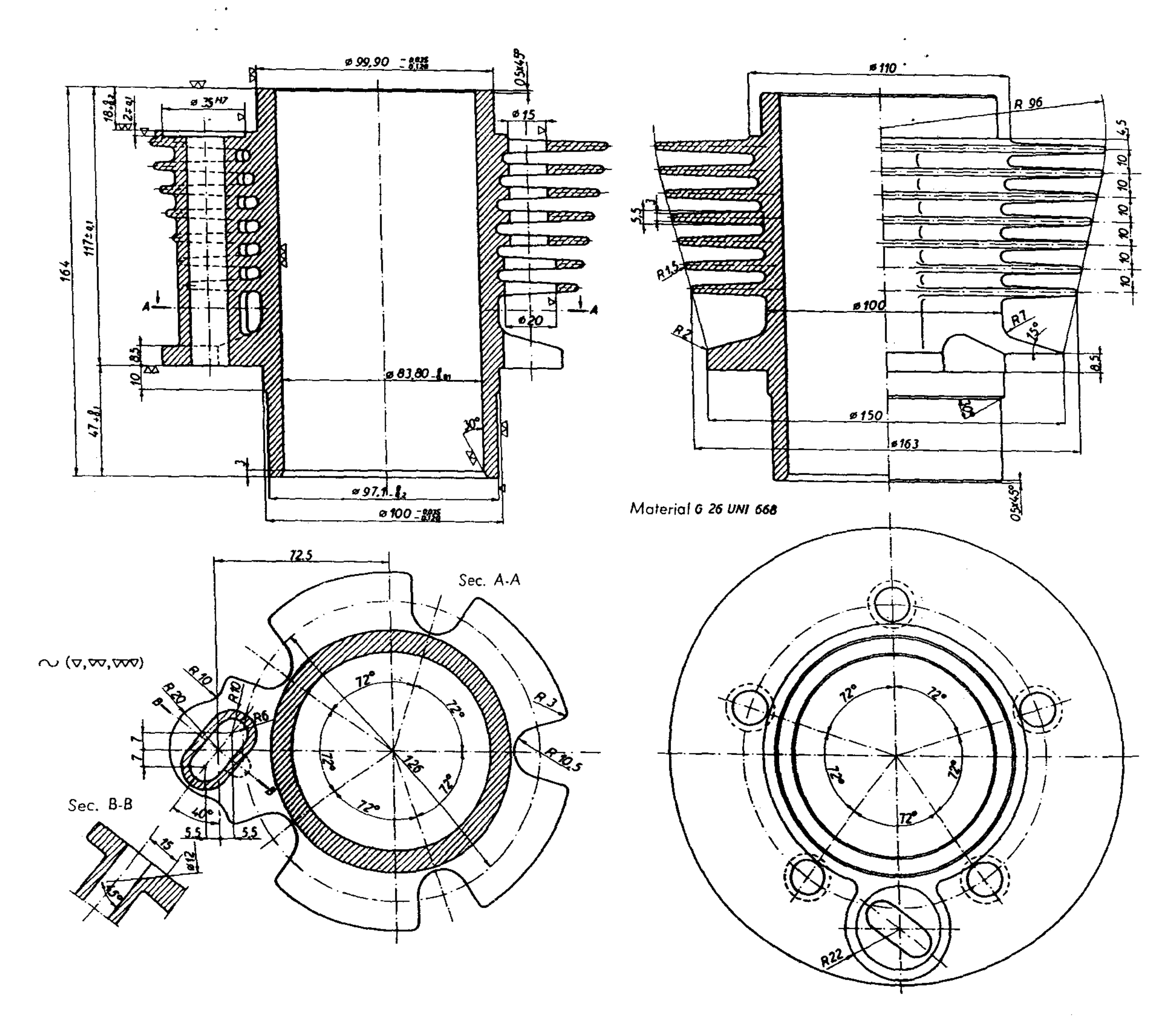


Fig. II, 518. *Cilindro de motor de explosión (Gilera).*

motores, como por la disposición de los cilindros en el caso de motores de varios cilindros, o finalmente por la necesidad de refrigeración.

En todo cilindro se distinguen generalmente las siguientes partes esenciales:

a) el **cuerpo** o *envoltura externa*, en contacto con la atmósfera;

b) el **alma** o **camisa,** en cuyo interior se desliza el pistón y que está en contacto con el fluido motor;

c) la **culata**, que cierra la parte alta del cilindro.

Hay casos en que las tres partes forman una sola pieza; pero generalmente son piezas separadas que se ajustan convenientemente; a las diversas posibilidades de ejecución y montaje se debe que haya varios tipos fundamentales de cilindros.

El **cuerpo** puede ser simple (caso de un solo cilindro) o compuesto de varios cilindros reunidos formando el llamado *bloque*.

El tipo de cuerpo simple está indicado especialmente para los motores refrigerados por aire; en éstos lleva el cilindro en su superficie exterior unas aletas para aumentar la dispersión del calor. La altura de estas aletas va disminuyendo a medida que disminuye la temperatura del fluido; pueden estar orientadas en sentido paralelo al eje o bien transversal. En las figuras se representan los cilindros de dos motores de explosión, uno con aletas de enfriamiento transversales (fig. II, 518) y otro con aletas axiales (fig. II, 520).

El tipo de bloque es preferible para los motores refrigerados por agua.

Las **camisas** pueden ser mecanizadas en el mismo cuerpo del cilindro, o bien insertadas en él. En este último caso pueden disponerse de forma que entre el bloque y la camisa queden unas cámaras de forma adecuada para permitir la circulación del agua de refrigeración. En las figuras esquemáticas II, 519 *a, b,* se muestra este último tipo; en la leyenda se dan indi-

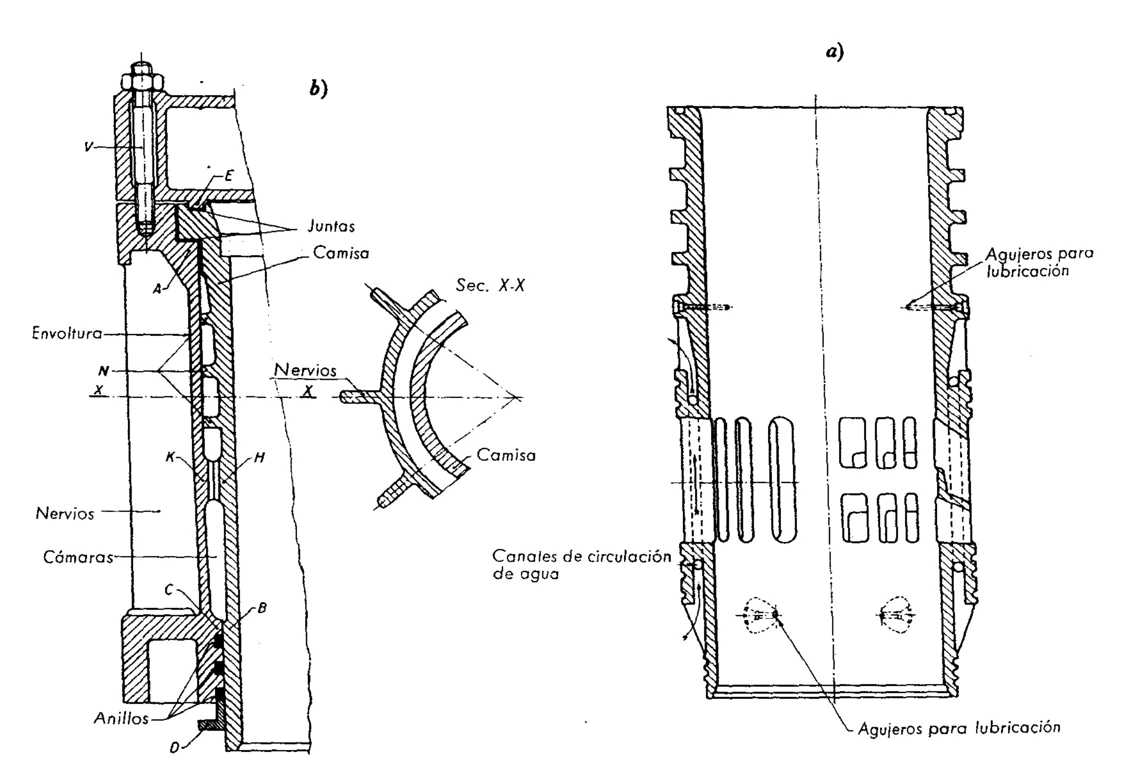


Fig. II, 519. *Camisa de cilindro y esquema de un sistema de montaje.* a) *Camisa de fundición dura especial, resistente a la fricción, para motor de dos tiempos (Tosi). Las paredes de la camisa entre las lumbreras contiguas de barrido y de descarga han de tener la sección conveniente para compensar el debilitamiento de la estructura debido a la presencia de dichas lumbreras. Nótense los apéndices correspondientes a las lumbreras: permiten la colocación de dos o tres sistemas de juntas, que impiden con toda seguridad que el agua de refrigeración pase de las cámaras del cilindro a las lumbreras. Las camisas de los motores de cuatro tiempos son naturalmente mucho más sencillas, por la ausencia de lumbreras y por lo mismo de los problemas con ellas relacionados.* b) *Esquema de montaje de la camisa de un motor de cuatro tiempos. Las cámaras anulares entre la camisa y la envoltura sirven para la circulación del agua de refrigeración. La camisa se introduce a frotamiento ligero en su envoltura y se apoya ligeramente en la grada* A, *guiada en la parte inferior por los salientes* B *y* C. *La cámara de válvulas, unida a la envoltura por los espárragos* V, *fija en su sitio la camisa mediante el resalto anular* E. *Las juntas especiales, muy delgadas, formadas a veces por laminillas de cobre ondulado, aseguran a las superficies de contacto de la envoltura con la cámara de válvulas un cierre hermético. Los anillos entre las partes* C *y* B *aseguran el cierre hermético de las cámaras de agua en su parte inferior: son de amianto grafitado o de otro material apropiado;* D *es un prensaestopas. Los salientes* H *y* K *tienen aplicación cuando el cilindro tiene gran longitud en relación con su diámetro, porque en tal caso se ha de proporcionar a la camisa mayor resistencia al empuje lateral. Los salientes* N *son las secciones de un nervio único helicoidal que, una vez montada la camisa, forma un canal helicoidal por el que circula a gran velocidad el agua de refrigeración.*

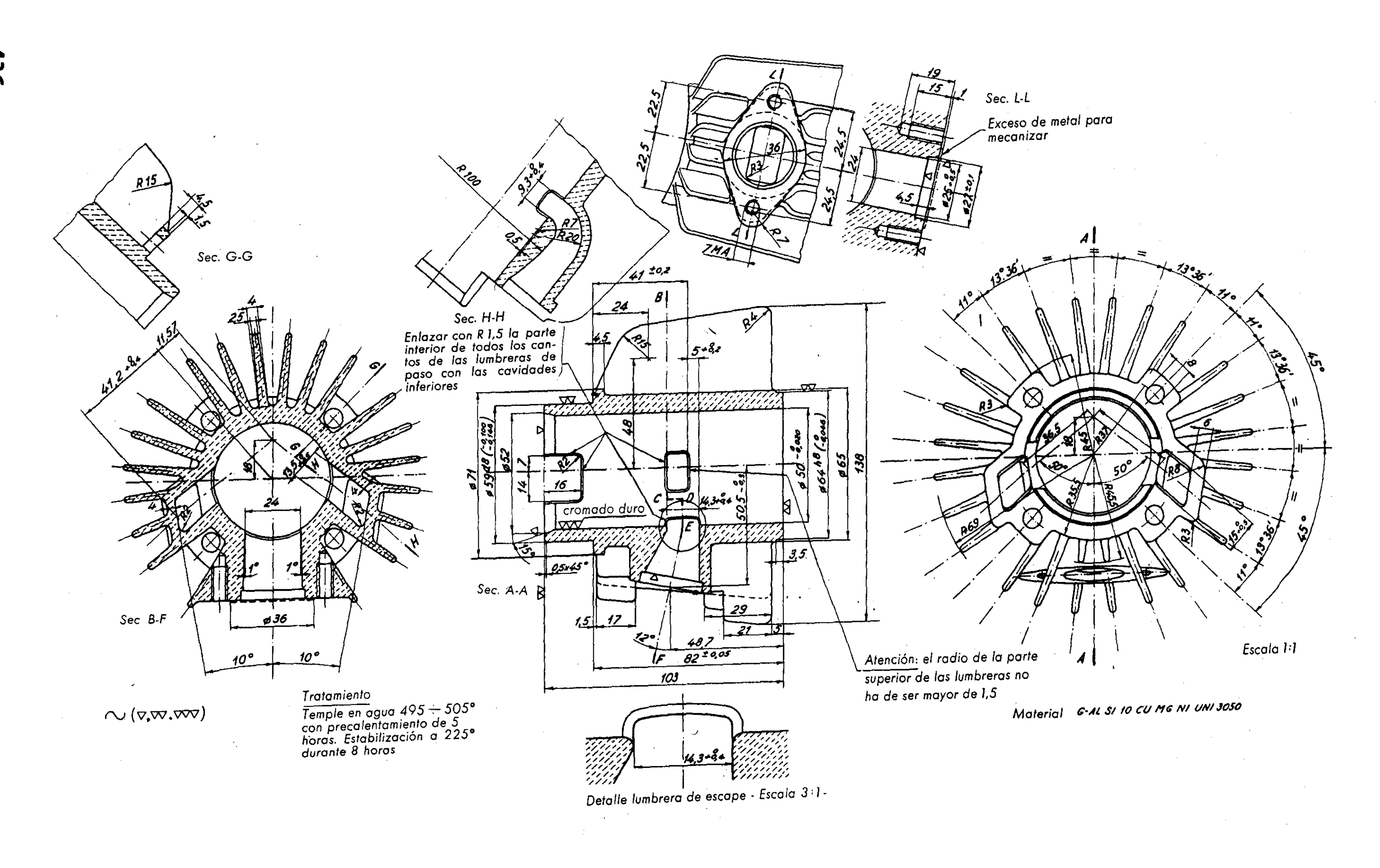


Fig. II. 520. *Cilindro de motor de explosión (Guzzi).*

caciones muy útiles para el dibujante, con las que comprenderá fácilmente los problemas de construcción y montaje que ha de tener presentes.

Las **culatas** son de tipo variado, según el de la cámara de combustión proyectada, en relación principalmente con el ciclo térmico del motor. Ya hemos dicho que las culatas pueden obtenerse por fusión junto con el cuerpo o envoltura externa; mas por lo general son una pieza separada. Se construyen de acero, fundición o aleaciones ligeras. En el caso de bloques, también se construyen las culatas de un solo bloque, tratándose de motores pequeños o medianos; en los motores grandes se funden las culatas por grupos y aun individualmente para facilitar el montaje.

La culata separada presenta muchas ventajas, tanto desde el punto de vista constructivo como del entretenimiento. De hecho son las siguientes:

a) facilita la fusión;

b) facilita el mecanizado del cilindro y de los asientos de válvulas;

c) facilita el bruñido de la cámara de combustión;

d) permite variar la relación de compresión del motor, con sólo variar el espesor de la junta o rebajando la culata.

Los cilindros de los motores de dos tiempos presentan especiales características de construcción relacionadas con la admisión y escape del fluido motor, que se efectúan por lumbreras practicadas en la parte baja del cilindro y que el pistón descubre o cierra en su carrera en el momento oportuno. Para que tenga lugar el ciclo térmico previsto, dichas lumbreras han de estar distribuidas convenientemente.

Es evidente que en este tipo de motores la culata es muy sencilla, por estar desprovista de las válvulas de admisión y escape que son indispensables en los motores de cuatro tiempos.

Pistones o émbolos. También este elemento tiene formas variadas, tanto por la clase de la máquina de que forma parte (*accionada* o *motriz*) como por el tipo de máquina dentro de la correspondiente clase.

Pero todos ellos han de reunir una condición común, cualquiera que sea su tipo, y es la del *cierre* perfecto; es decir, que han de impedir la fuga del fluido de la cámara de explosión a través del juego que hay entre el pistón y la camisa del cilindro. En muy pocos casos se efectúa el cierre por un ajuste perfecto de deslizamiento entre el pistón y el cilindro: pues esto exige ineludiblemente que el cilindro y el pistón estén construidos del mismo material, para que las variaciones de temperatura que se producen en cada ciclo no causen diferencias de dilatación, en las que influirían también el distinto enfriamiento que experimentan las diferentes partes del cilindro.

Pero en el caso general se efectúa el cierre mediante unos *segmentos* o *anillos* adecuados. Estos aros van alojados en gargantas apropiadas practicadas alrededor del pistón, construidos de metales adecuados, si se trata de fluidos de elevada temperatura (máquinas de vapor, motores de combustión interna, bombas para líquidos muy calientes), o bien de cuero o material análogo, cuando la temperatura de los fluidos es poco elevada.

A veces las juntas se montan en el cilindro, como ocurre en los émbolos sumergidos de las prensas hidráulicas, acumuladores hidráulicos y bombas de alta presión.

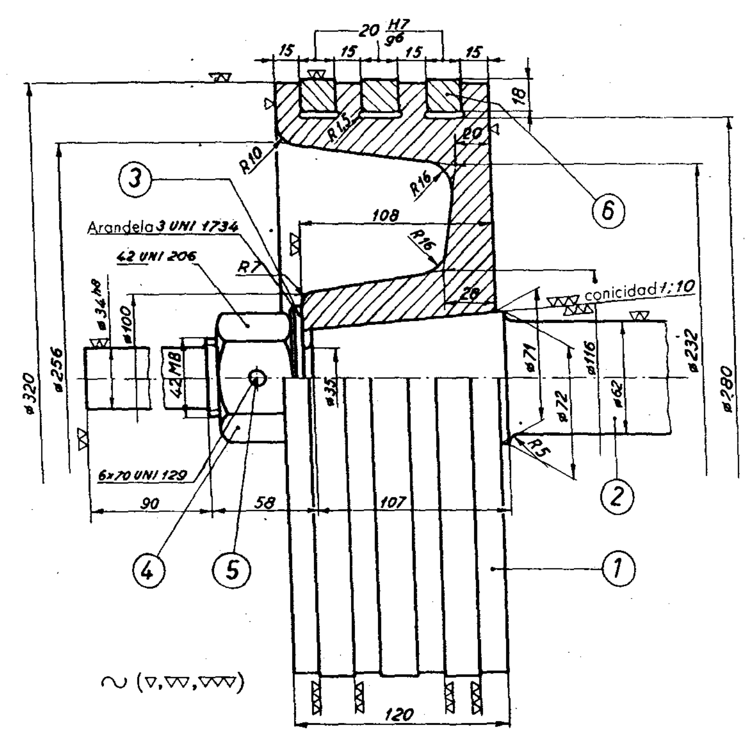
Con frecuencia, y necesariamente cuando falta la cruceta, el émbolo cumple la función de guiar el movimiento rectilíneo alternativo del pie de la biela: en este caso, la dimensión axial del pistón ha de ser suficiente para que pueda asumir dicha función.

Pasemos ahora a explicar brevemente las características de los tipos de pistón empleados en las máquinas motrices, que dividiremos en tres clases:

a) máquinas de vapor;

b) motores de combustión interna lentos;

c) motores de combustión interna rápidos.



Nº	Nombre	Piezas Nº	Material
1	Embolo	1	A 45 UNI 3158
2	Vástago	1	C 40 UNI 2954
3	Arandela	1	A 00 UNI 743
4	Tuerca	1	C 40 UNI 2954
5	Pasador cónico	1	A 37 UNI 743
6	Segmentos	3	GMB 40 UNI 3779

Fig. II, 521. *Émbolo de máquina de vapor.*

a) **Émbolos para máquinas de vapor.** Se construyen generalmente de acero fundido o de fundición. Llevando normalmente cruceta no les incumbe la función de guía, por lo que su dimensión axial es muy pequeña (fig. II, 521): el émbolo se une a la cruceta mediante un *vástago* o *barra*. Estos émbolos pueden ser de tipo abierto, como el que representa la figura II, 521, que es el que se emplea en las máquinas de simple efecto; o bien de tipo cerrado, empleado en las máquinas de vapor de doble efecto, en las que el vapor actúa alternativamente sobre las dos caras del émbolo. Este tipo se emplea también en los grandes motores de gas, pero en este caso es necesario refrigerar convenientemente el émbolo, lo que se hace generalmente por circulación de agua en las cámaras dispuestas entre sus dos caras. En algunos casos la capa externa de los émbolos para vapor no forma una pieza con la cabeza, sino que se le une mediante apropiados espárragos.

Como ya se ha indicado, es sobre la capa externa del émbolo donde se practican las ranuras circulares o gargantas en las que se alojan los aros de cierre. Éstos están formados por aros cortados: cuando están montados no han de apoyarse sobre el fondo de su garganta y tampoco han de poder girar, para evitar que por casualidad quedasen los varios aros en tal posición que sus cortes estuviesen sobre una misma generatriz del cilindro, ya que en tal caso el cierre sería muy deficiente.

b) **Émbolos para motores lentos.** Estos émbolos, en los que tiene gran importancia el problema de la refrigeración, están diseñados para permitir la dispersión del calor mediante circulación de agua o por aceite, que puede, en este último caso, servir también para lubricar la superficie de contacto entre émbolo y cilindro.

La refrigeración del pistón con agua requiere una adecuada canalización, para evitar que el agua se mezcle con el lubricante. Se sabe por el curso de motores térmicos que la entrada y salida del agua de refrigeración tiene lugar por medio de *tubos telescópicos* provistos de juntas apropiadas (fig. II, 522).

El sistema de refrigeración más extendido es el que utiliza el aceite, a pesar de su menor conductibilidad térmica comparada con la del agua. Con la refrigeración por aceite no sólo no es de temer que se mezcle con el lubricante, sino que en muchos casos es el mismo aceite lubricante, contenido en el cárter del motor, el que circula dentro del émbolo, refrigerándolo. La entrada del aceite se efectúa por tubos articulados con rótula o por medio de una canalización en el interior del vástago del émbolo. Otro sistema de refrigeración es el que se funda en la aspersión o niebla de aceite, para lo cual el aceite es transportado convenientemente por los órganos en movimiento del motor, que lo recogen del cárter. Hay que evitar, naturalmente, que se queme el aceite que baña las paredes interiores del cilindro, originando, además de su pérdida, enojosos depósitos carbonosos; para ello se quita este aceite por los segmentos o por los

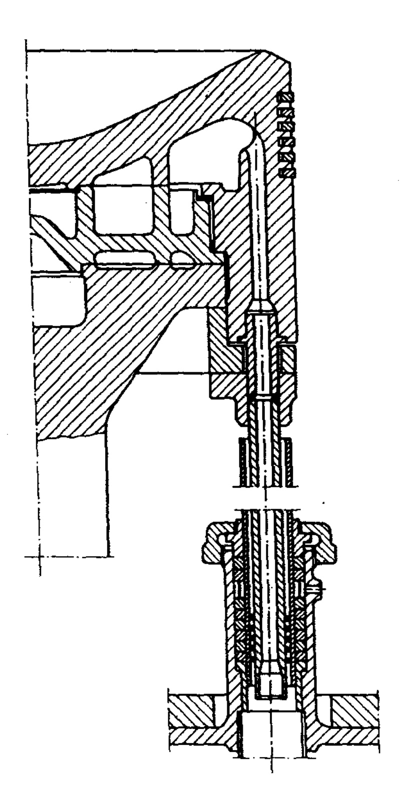


Fig. II, 522. *Detalle de la conducción del agua de refrigeración, mediante tubos telescópicos.*

aros rascadores de aceite especiales (fig. II, 530).

Correspondiendo a los diversos tipos de motores, de dos y de cuatro tiempos, de simple o doble efecto, con refrigeración por aceite o circulación de agua, los pistones toman formas muy variadas.

En la figura II, 523 *a* se representa un émbolo para motor sin cruceta.

En la figura II, 523 *b* se representa un émbolo para diesel lento, con cruceta y con circulación de agua. La leyenda de la figura indica sus características. En la figura II, 523 *c* se representa un émbolo para motor de dos tiempos con cruceta. En la figura II, 523 *d* se representa finalmente un pistón para diesel lento de doble efecto, de dos tiempos.

c) **Émbolos para motores rápidos.** Las formas de estos émbolos son muy variadas, dependiendo de las características de las máquinas a que están aplicados. La cabeza, especialmente, debe adaptarse a la forma particular de la cámara de combustión, para obtener la relación de compresión deseada. Con objeto de disminuir las fuerzas de inercia, estos pistones se construyen generalmente de aleaciones ligeras. Normalmente se unen al pie de la biela mediante un bulón; por lo tanto la falda del pistón tiene también la función de guía, no habiendo cruceta. La refrigeración de estos pistones se efectúa generalmente por aspersión: por lo cual hay siempre, además de los segmentos de compresión o cierre, un segmento rascador de aceite. Llevan nervios apropiados para darles

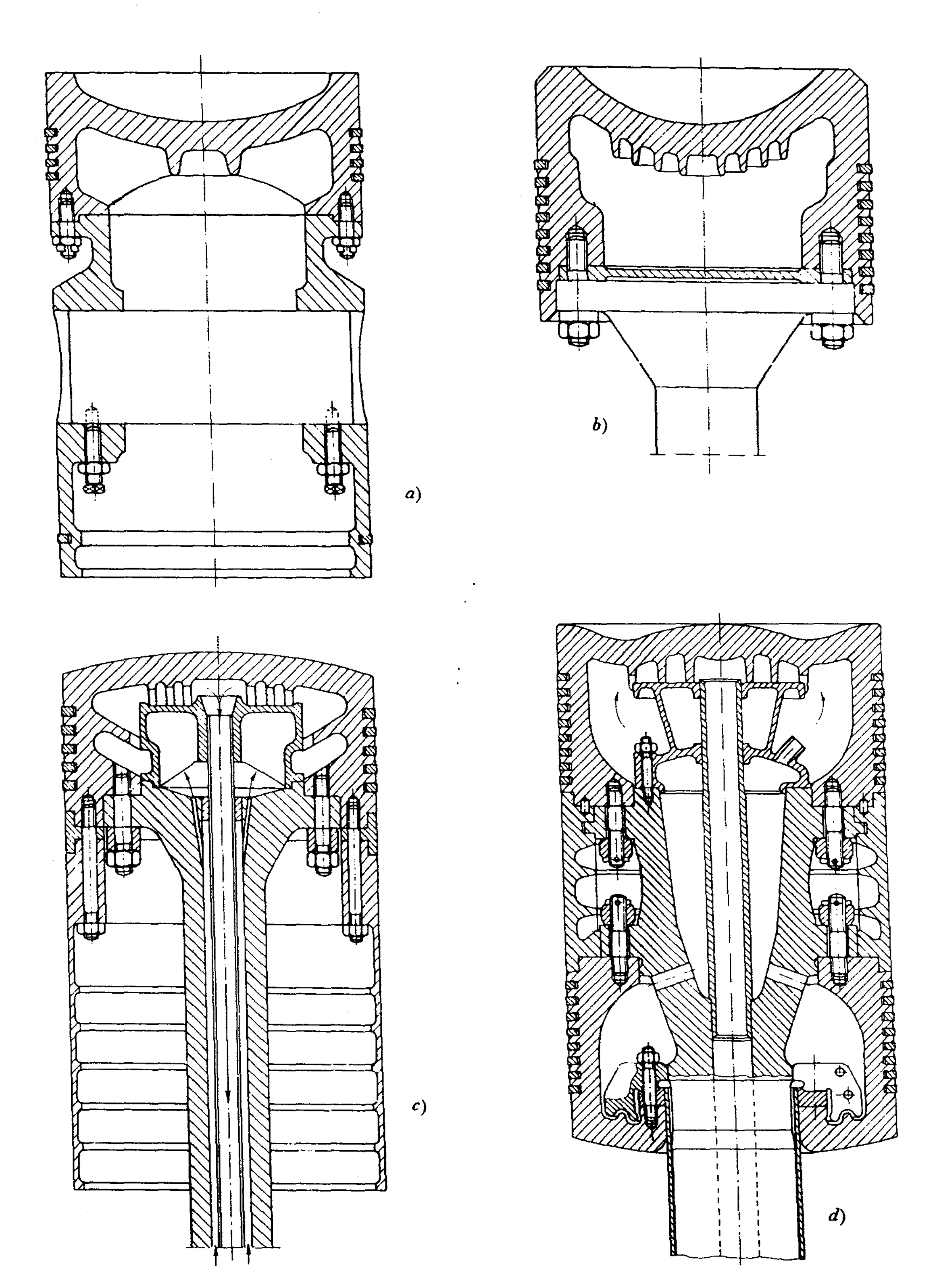


Fig. II, 523, *a, b, c, d. Formas esquemáticas características de los émbolos para motores lentos.* a) *Émbolo para motor sin cruceta. Su longitud axial es necesaria para poder guiar el pie de la biela.* b) *Émbolo para diesel lento de 4 tiempos, con cruceta. Nótese la forma especial de la cabeza que facilita la mezcla del aire con el carburante pulverizado. La longitud del émbolo es reducida debido a que la cruceta se encarga de guiar el pie de la biela.* c) *Émbolo para motor de dos tiempos con cruceta. Puesto que el émbolo está encargado de la función de distribución, su falda ha de tener la longitud apropiada para dicho cometido. En la posición de punto muerto superior, la falda ha de cerrar tanto las lumbreras de admisión como las de escape. La corriente del refrigerante (aceite) tiene más velocidad en los puntos de temperatura más alta, para impedir la formación de incrustaciones: estas variaciones de velocidad se consiguen dando la forma conveniente al* difusor *en el que desemboca el conducto del aceite.* d) *Émbolo para motor lento de dos tiempos, de doble efecto. El émbolo es doble, o sea, compuesto de dos cabezas (de las cuales la inferior presenta el agujero para el paso del vástago) unidas por una falda, en parte de fundición, en parte de cobre y en parte de chapa de acero. La refrigeración es parecida a la del tipo* c).

mayor rigidez y de esta manera dispersar el calor.

En las figuras II, 524-528 se representan algunos tipos de pistones, cuyas cabezas tienen con frecuencia formas especiales para que se cumplan las condiciones de funcionamiento y compresión proyectadas, como se estudia detalladamente en los cursos de máquinas (fig. II, 524).

Debido a los grandes esfuerzos a que estos pistones están sometidos, la capa externa queda algunas veces ovalizada.

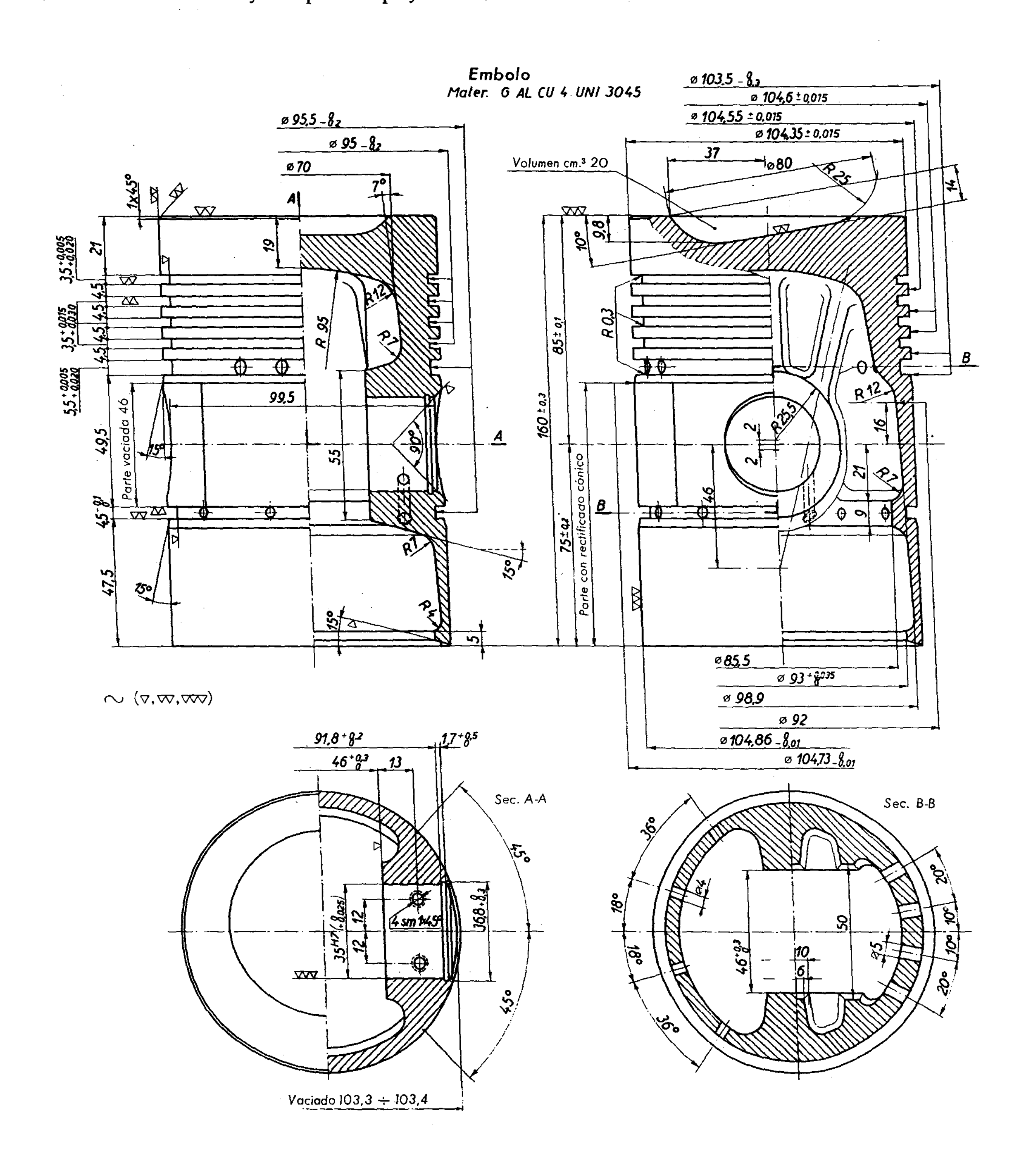


Fig. II, 524.

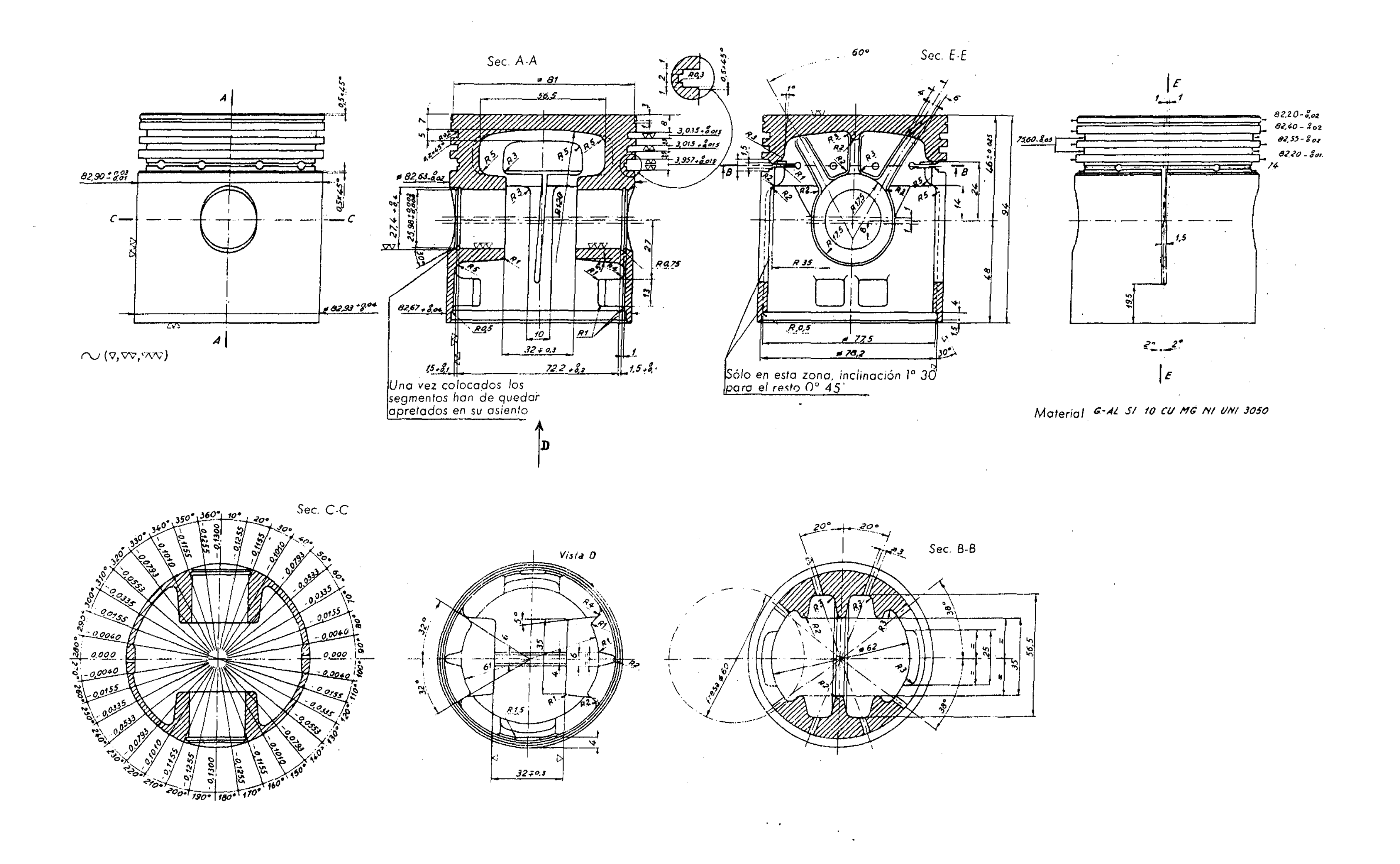


Fig. II, 525. *Émbolo de motor de explosión para automóvil (Lancia). Obsérvese el gran número de vistas y secciones necesario para representar completamente este émbolo. Se llama también la atención sobre la acotación que representa la ovalización del émbolo, de que se trata en este texto.*

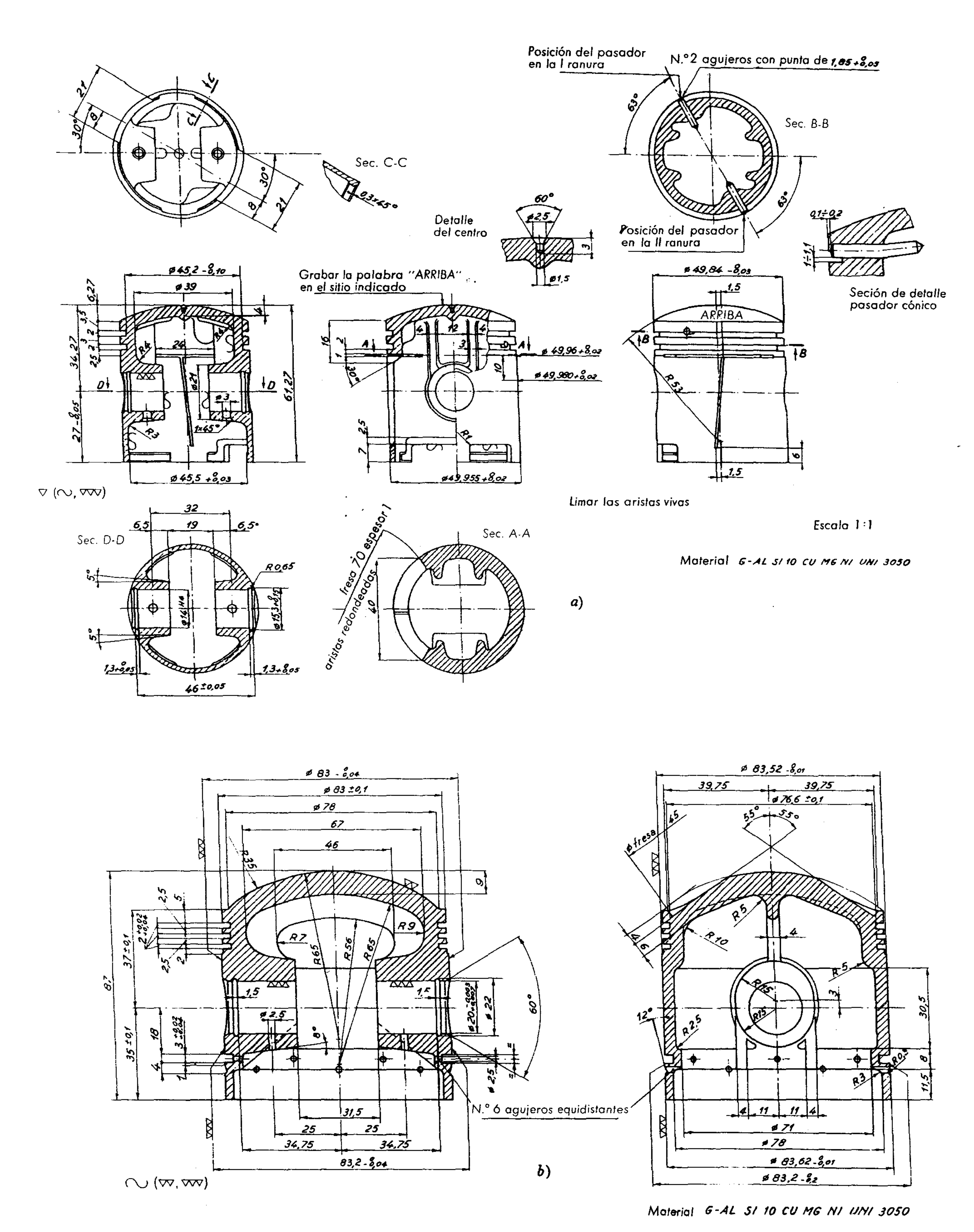


Fig. II, 526 *a, b.* *Pistones de motor para moto: a) Pistón de motor para moto de 4 tiempos (Guzzi); b) Pistón de motor para moto (Gilera).*

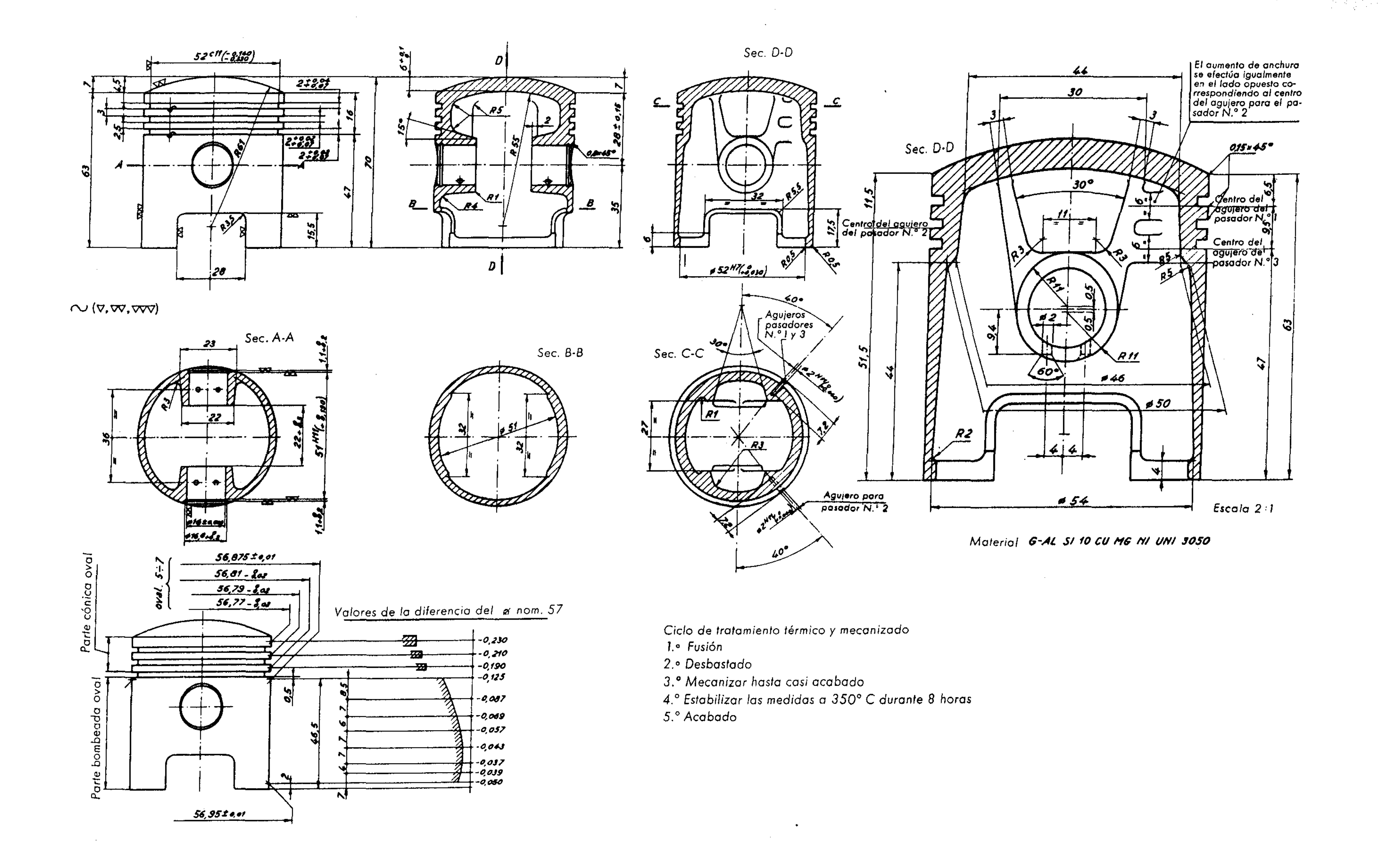


Fig. II, 527. *Pistón para motor de Lambretta (Innocenti).*

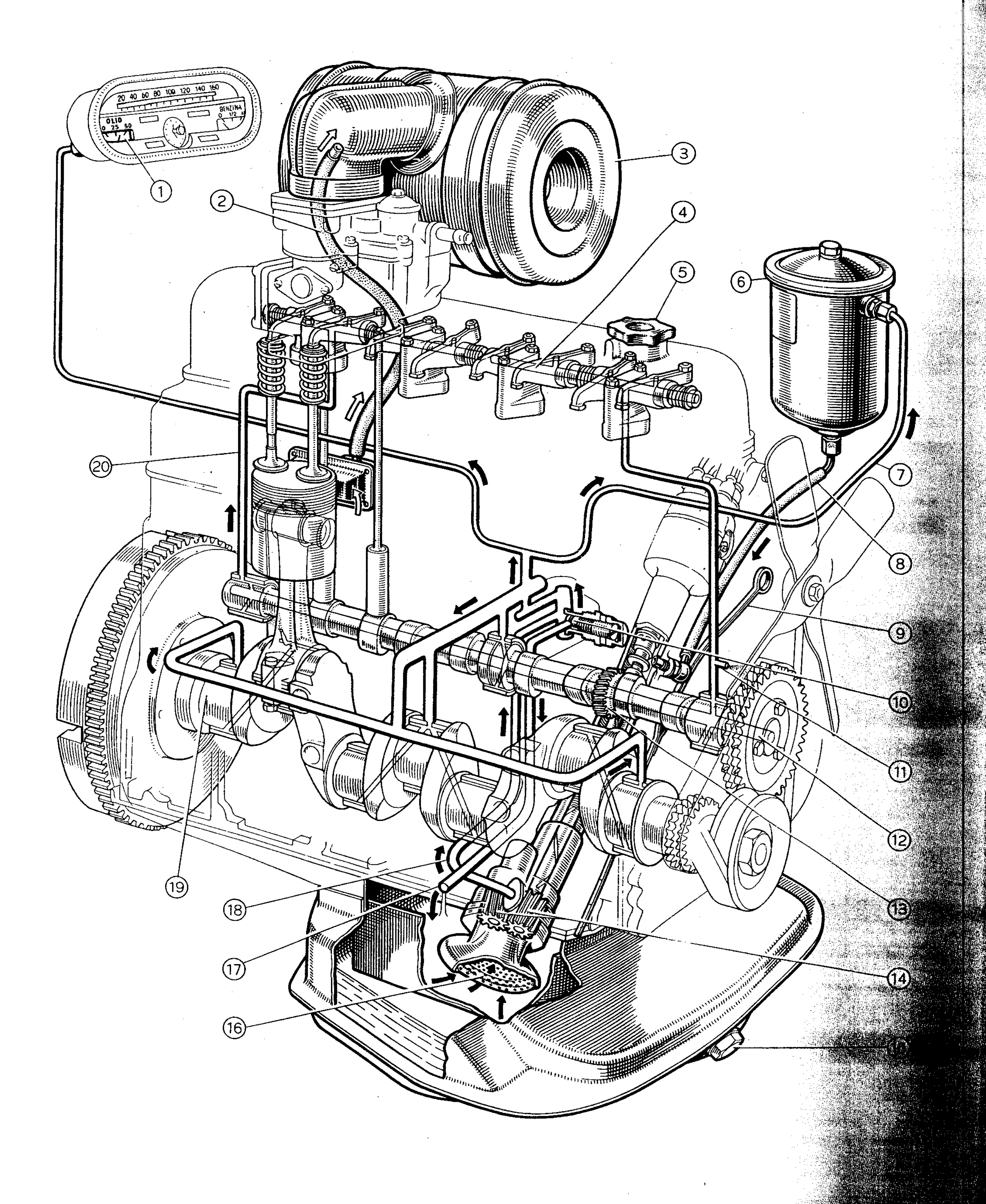


Fig. II, 528. *Esquema axonométrico de la lubricación del motor Fiat 1400 B.*

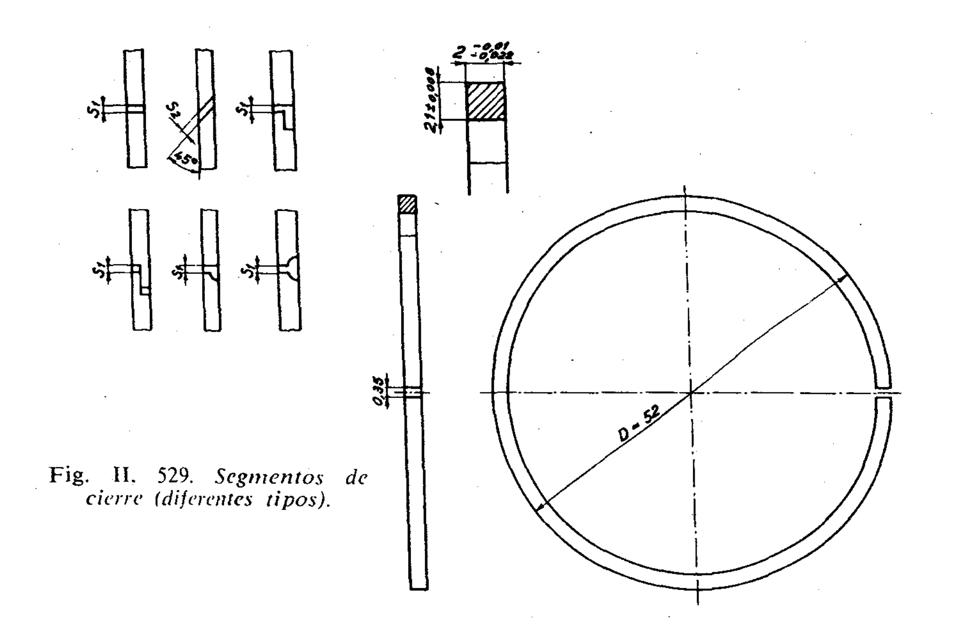


Fig. II, 529. *Segmentos de cierre (diferentes tipos).*

D	S_1	S_2
30 ÷ 50	0,15 ÷ 0,30	—
50 ÷ 60	0,20 ÷ 0,35	—
60 ÷ 70	0,25 ÷ 0,40	—
70 ÷ 90	0,30 ÷ 0,45	—
90 ÷ 100	0,40 ÷ 0,55	—
100 ÷ 120	0,40 ÷ 0,60	0,28 ÷ 0,48
120 ÷ 130	0,45 ÷ 0,65	0,32 ÷ 0,52
130 ÷ 150	0,50 ÷ 0,70	0,35 ÷ 0,45
150 ÷ 160	0,55 ÷ 0,75	0,40 ÷ 0,60
160 ÷ 170	0,60 ÷ 0,80	0,42 ÷ 0,62

En la figura II, 529 se representa un segmento de cierre o de compresión: en la pequeña tabla de la misma figura se representan las diversas formas de cortes, con los correspondientes espesores en relación con el diámetro del pistón.

En la figura II, 530 se representa asimismo un tipo de rascador de aceite; en la figura II, 531 se representan esquemáticamente varios tipos de secciones corrientes.

97. Levas

Se conoce por la mecánica aplicada el principio del funcionamiento de las levas, empleadas universalmente para el accionamiento de las válvulas de distribución de los motores endotérmicos, accionamiento de máquinas automáticas y semiautomáticas, etc. Cuando en estas últimas se han de montar sobre el mismo manguito diversas levas, pueden éstas tomar formas muy diversas (fig. II, 532).

Toda leva tiene un perfil formado por tres segmentos curvilíneos, cada uno de los cuales acciona una de las fases de las operaciones que rige dicha leva. Así, por ejemplo, las tres secciones del perfil de la leva que acciona una válvula de un motor de explosión (fig. II, 533 *a*), corresponden respectivamente a las fases de abertura gradual de la válvula, admisión máxima constante y cierre rápido de la válvula; en cambio, en el movimiento de arrastre de una máquina automática, se tienen las fases de acercamiento rápido, de trabajo con avance lento y de retroceso rápido (fig. II, 533 *b*).

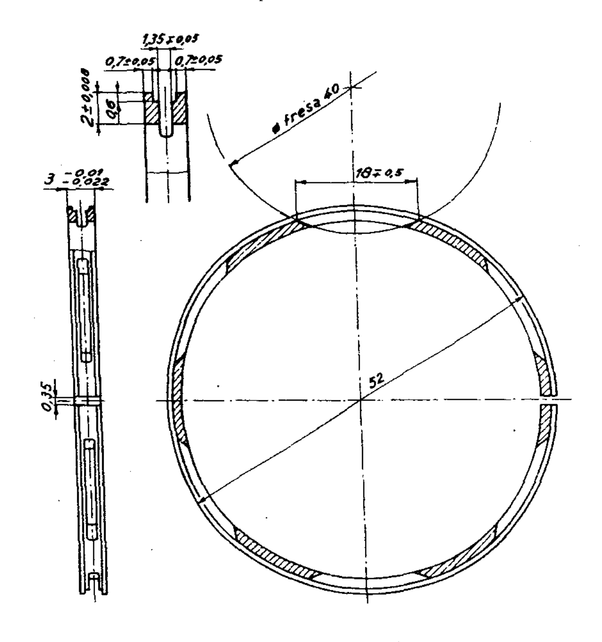


Fig. II, 530. *Tipo corriente de rascador de aceite.*

Puesto que el árbol que lleva la leva gira generalmente a velocidad constante, los tres arcos de curva que determinan el perfil de la leva, se dibujan en relación con el movimiento que ha de tener la pieza accionada por la leva y con los tres ángulos α, β, γ que, dada la velocidad del árbol, corresponden a los tiempos en que deben efectuarse las tres fases (fig. II, 533).

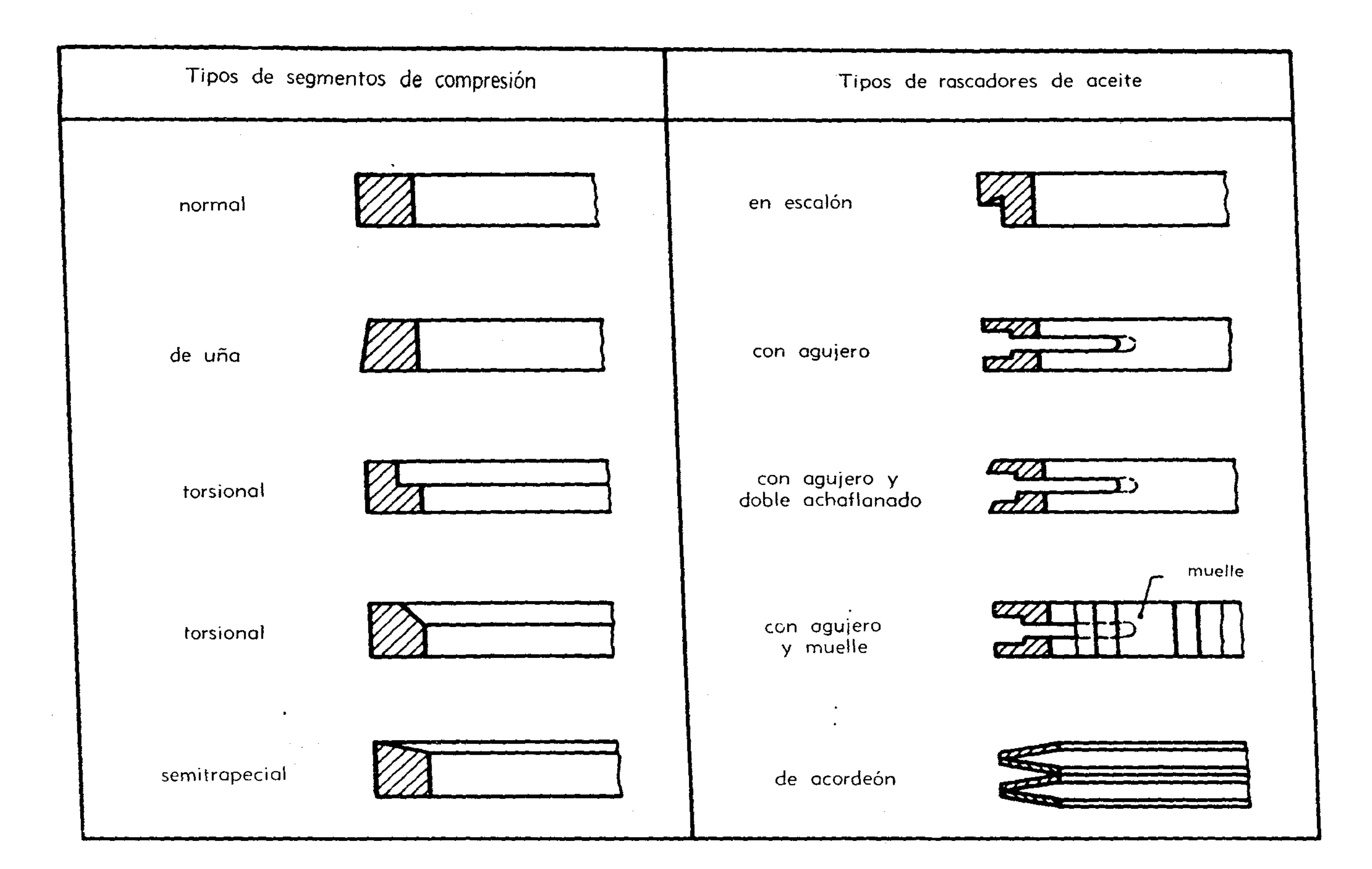


Fig. II, 531. *Diferentes tipos de segmentos de cierre y rascadores de aceite.*

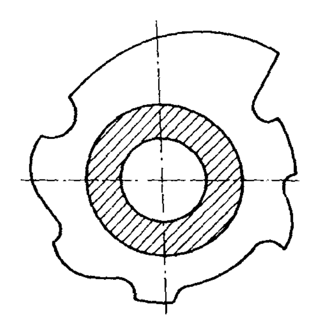


Fig. II, 532. *Excéntrica de accionamiento de máquina-herramienta automática.*

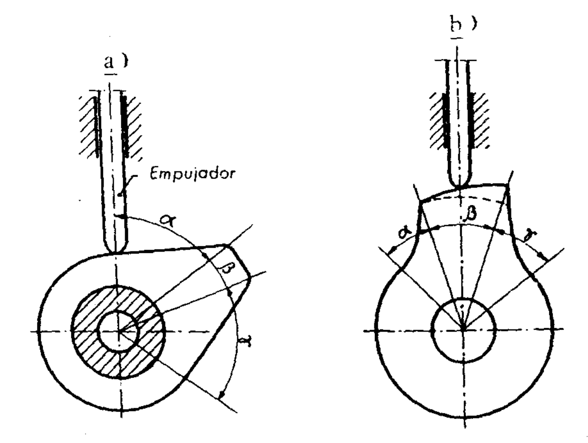


Fig. II, 533. *El perfil de cada leva está constituido por tres arcos de curva, que corresponden a las tres fases de la operación accionada por la leva. Puesto que la velocidad de rotación del árbol es constante, la abertura de los tres ángulos α, β, γ, es proporcional a los tiempos de duración de las tres fases.*

Como ya se sabe, una leva puede accionar el órgano que ha de mover, o bien directamente (fig. II, 533 *a*), o bien con interposición de un **empujador con rodillo** (fig. II, 534), o aun por medio de un **balancín de leva** (fig. II, 535). En este caso es necesario disponer de un sistema de acción opuesta (general-

mente un resorte) para asegurar un rápido retroceso del órgano accionado a su posición primitiva.

En la figura II, 537 se representa un árbol de levas para abrir las válvulas de un motor de automóvil. En la figura II, 536 se representa el correspondiente balancín.

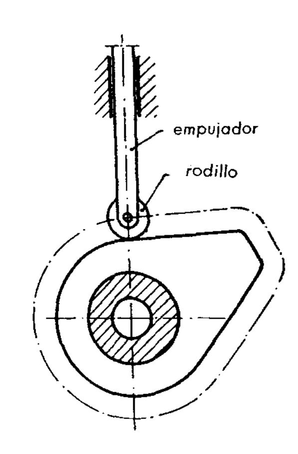


Fig. II, 534. *Leva con empujador de rodillo.*

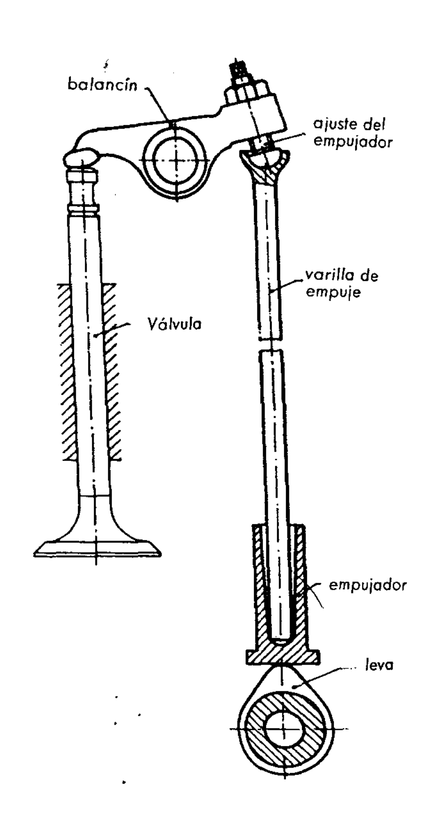


Fig. II, 535. *Esquema de leva accionando una válvula de admisión mediante un balancín.*

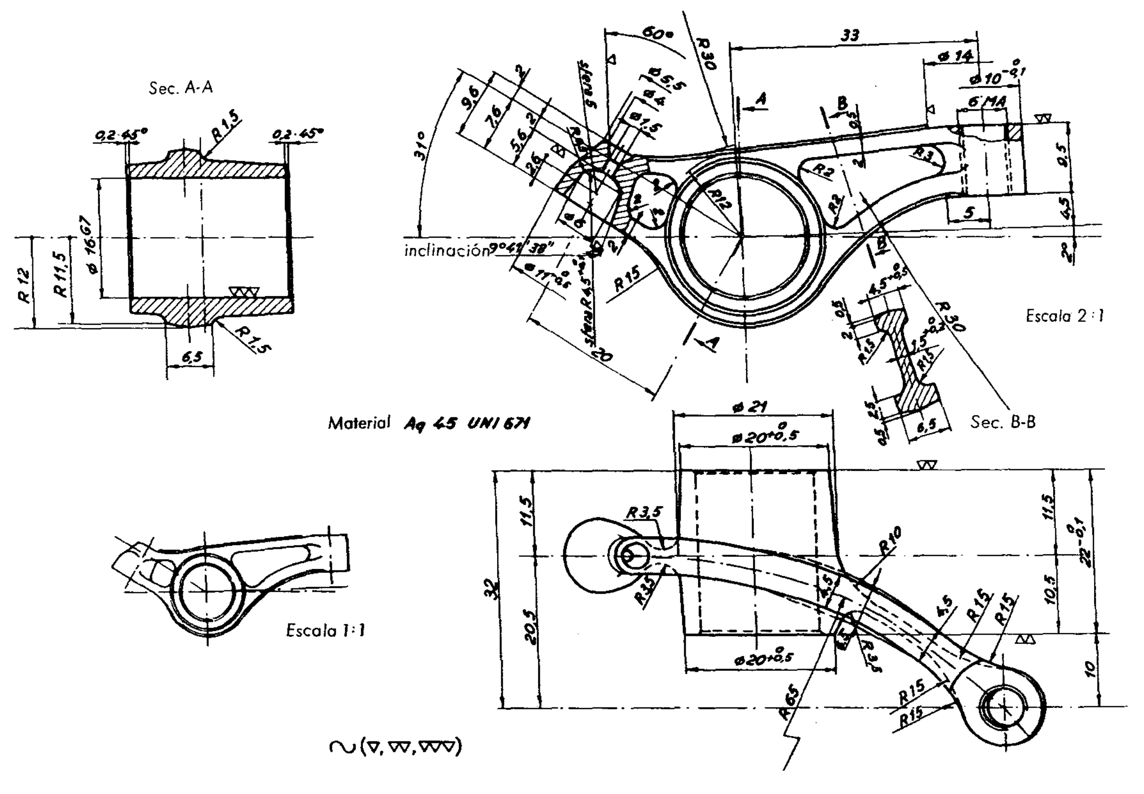
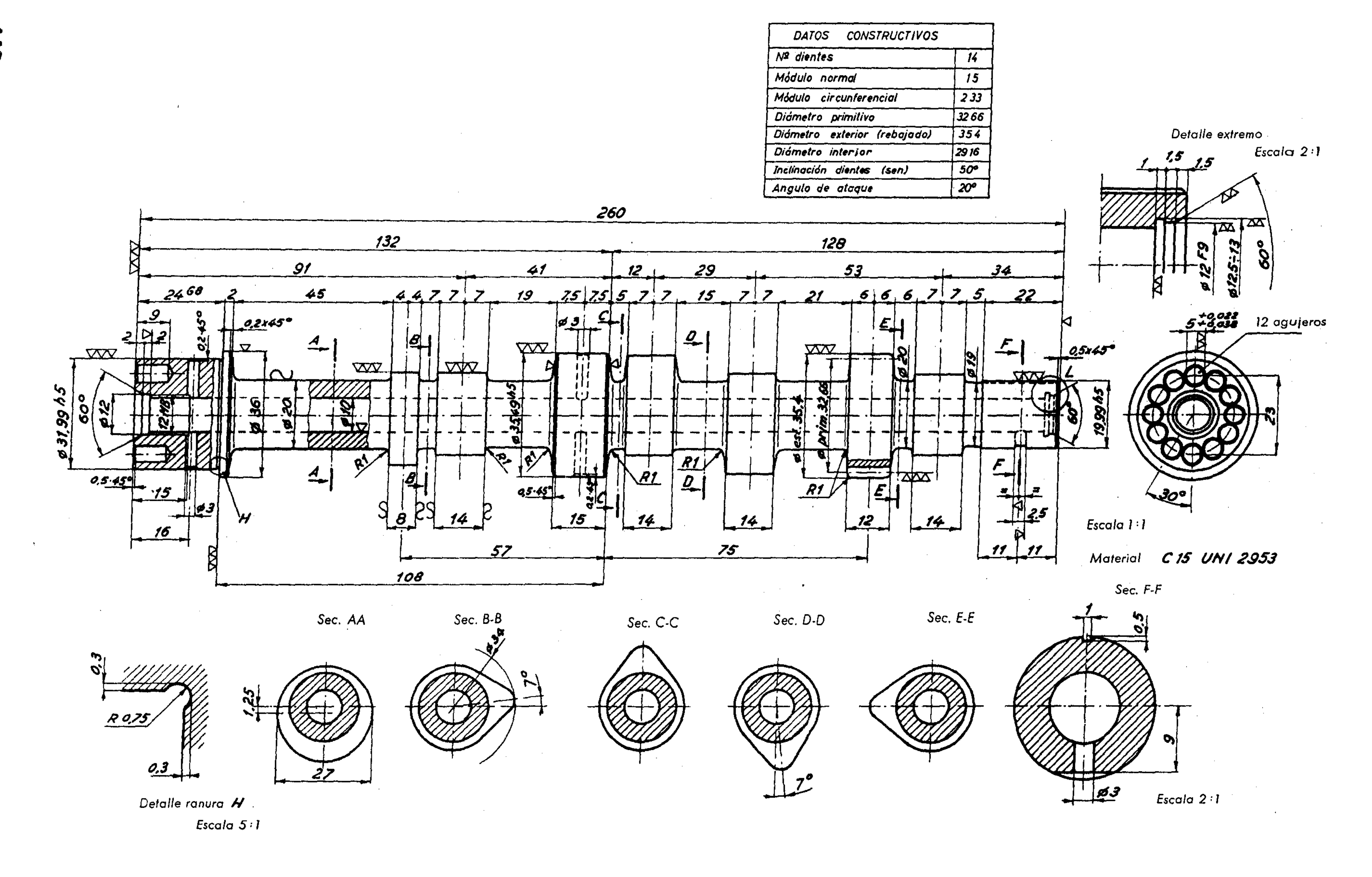


Fig. II, 536. *Balancín correspondiente al árbol representado en la* figura II, 537.



DATOS CONSTRUCTIVOS	
Nº dientes	14
Módulo normal	15
Módulo circunferencial	2 33
Diámetro primitivo	32 66
Diámetro exterior (rebajado)	35 4
Diámetro interior	29 16
Inclinación dientes (sen)	50°
Angulo de ataque	20°

Fig. II, 537. *Árbol de levas para la distribución de un motor de automóvil (Lancia). Como se puede ver en la figura, conforme a lo dispuesto por el UNI, en algunas secciones se han suprimido las líneas de trazo y punto, poniendo sólo las líneas gruesas, para que el dibujo resulte más claro.*

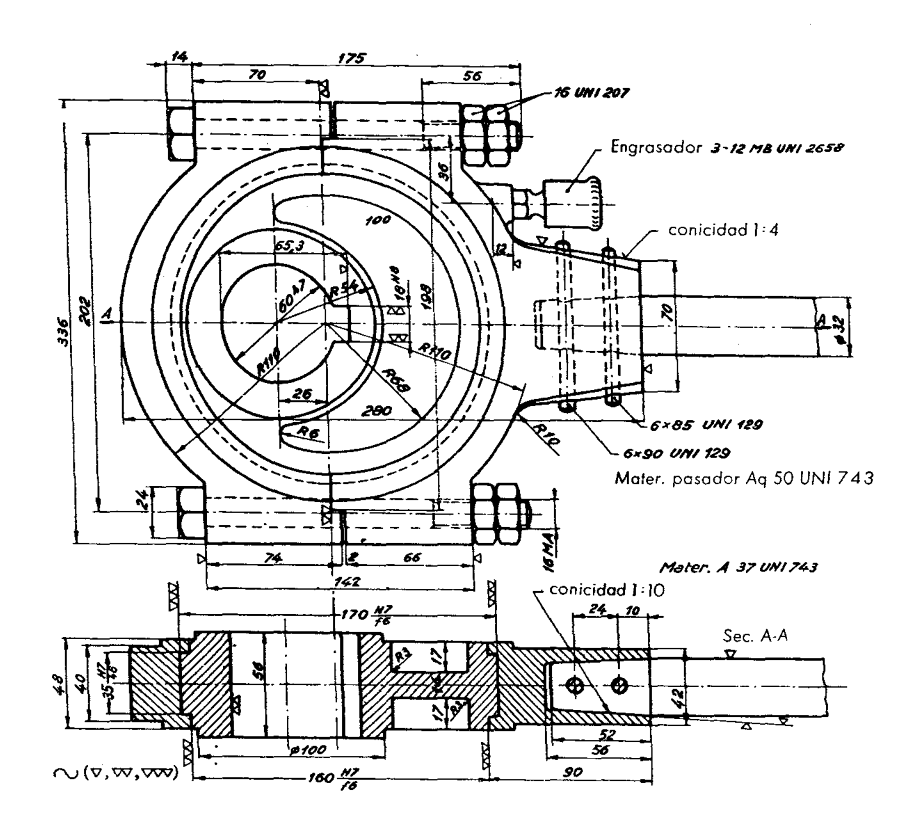


Fig. II, 538. *Excéntrica de collar.*

Los balancines se fabrican ordinariamente por forjado y de acero al carbono, para los tipos corrientes, de acero al níquel o al níquel-cromo para los tipos sometidos a grandes esfuerzos; si el balancín ha de tener endurecida su superficie para accionar directamente la cola de la válvula, se fabrica de aceros aleados para cementación.

Para tratar de las formas de válvulas, se volverá sobre este tema más adelante, en el n.° 108, en el que se estudian las válvulas en general.

98. Excéntricas

Hay una tendencia a reservar el nombre de excéntricas para las excéntricas circulares o de collar, que vienen a ser una manivela de longitud igual a la excentricidad de este mecanismo.

La figura II, 538 indica la configuración de una excéntrica de collar. El canal interior del collar en el que va encajada y gira, en su movimiento, la excéntrica, está bien lubricado por un engrasador; sólo en el caso de elevadas cargas o grandes velocidades hay un recubrimiento antifricción.

Es muy importante que el collar esté bien estudiado y tenga las dimensiones necesarias para presentar suficiente rigidez, ya que su deformación lo apretaría contra la excéntrica, funcionando como un freno de cinta.

Para algunas aplicaciones especiales (como, por ejemplo, los telares para tejidos, de marcha exterior), en lugar de las excéntricas que normalmente rigen el movimiento de los lizos se pueden emplear tambores con segmentos periféricos, diseñados de modo que levanten una palanca con rodillo de contacto.

Por ser estas aplicaciones muy particulares nos limitamos a dar estas breves nociones; en los números 52 a 55 de la parte IV (Mecánica) se encontrarán más detalles.

Capítulo XIII

MUELLES

99. Generalidades

Los muelles son órganos mecánicos caracterizados por el hecho de que pueden sufrir, bajo la acción de fuerzas exteriores, grandes deformaciones elásticas, con acumulación de una energía que, cuando desaparece la deformación, al cesar la acción que la ocasionaba, se devuelve en su mayor parte. Dentro de los límites en que pueden emplearse los muelles, no puede haber nunca deformaciones permanentes.

Las deformaciones de los muelles pueden ser producidas por fuerzas o bien por pares de fuerzas.

Por las características indicadas, tienen los muelles muchas aplicaciones en la técnica; entre ellas indicaremos como especialmente interesantes para el dibujo técnico las siguientes:

a) Cuando se hayan de limitar los efectos de los choques, sacudidas, vibraciones, etc., lo que ocurre, por ejemplo, en los automóviles, en los que los muelles de suspensión cumplen precisamente esta función.

b) Para asegurar el contacto de dos piezas de un mecanismo, contacto que podría fallar si no hubiese un adecuado dispositivo; véase, como ejemplo, el gatillo de un trinquete en la figura II, 475, aplicado contra la rueda por la acción de un resorte; un dispositivo de fricción puede necesitar la acción de un resorte apropiado, para ejercer la presión necesaria entre las dos piezas en contacto; el contacto de un empujador con la correspondiente excéntrica se puede asegurar con un muelle, etc.

c) Para acelerar los movimientos (que precisen gran rapidez) de órganos especiales, como válvulas (fig. II, 566, 572, 573), interruptores, etc.

Además de estas aplicaciones principales, se pueden mencionar las de los muelles de órganos oscilantes, como el volante de un reloj; los muelles motores de pequeñísima potencia (relojes, juguetes mecánicos, etcétera); los dinamómetros de muelle y dispositivos semejantes.

100. Tipos de muelles

Desde el punto de vista *mecánico*, pasando por alto los muelles de disco, a los cuales se ha reservado el n.° 102, los otros muelles se pueden dividir en varios tipos, representados esquemáticamente en las tablas, en las que se han puesto además algunas de las fórmulas de cálculo más corrientes (tabla 179).

En estas fórmulas (Malavasi) conviene indicar el significado de las letras que no se evidencia en las figuras correspondientes, así como las unidades de medida, y son:

P carga en kg; medidas geométricas en cm; **f** en cm; **n** número de espiras de los resortes helicoidales; **k** carga de seguridad a flexión en kg/cm²; $\mathbf{k}_t$ ídem a torsión; **E** módulo de elasticidad a tracción en kilogramos/cm²; **G** ídem de elasticidad transversal; **J** momento de inercia en cm⁴.

Conociendo la carga **P** y la flecha **f**, la traslación que aquélla experimenta causa la deformación del muelle, porque dentro de los límites de elasticidad en que funcionan siempre los muelles, la deformación es siempre proporcional a la carga, y el trabajo de deformación resulta expresado por el semiproducto de **P** por **f**:

$$\mathbf{L} = \frac{1}{2}\mathbf{P} \cdot \mathbf{f}$$

La flecha se calcula con las fórmulas que se hallan en los textos de mecánica y en la tabla.

En la figura II, 539 se reproducen fotografías de algunos muelles industriales.

En la práctica pueden tener los muelles formas muy diversas, según las aplicaciones para que sean construidos.

Los resortes cilíndricos helicoidales se clasifican, desde el punto de vista de su empleo, en resortes a *compresión*, a *tracción* y a *torsión*.

En las figuras II, 540-541 se pueden ver los dos tipos más corrientes de resortes cilíndricos a compresión. Se pueden también disponer dos resortes concéntricos (fig. II, 542). A veces estos resortes tienen la espira del extremo arrollada con un diámetro más pequeño, para facilitar su aplicación a casos especiales (fig. II, 543). Para lograr características especiales pueden tener los resortes cilíndricos a compresión las espiras de los extremos más próximas a las inmediatas, como se ve en la figura II, 568, que representa una válvula de un automóvil Fiat 500; no es posible entrar en más detalles sobre esto, porque generalmente se fijan estas variaciones de paso en tablas empíricas.

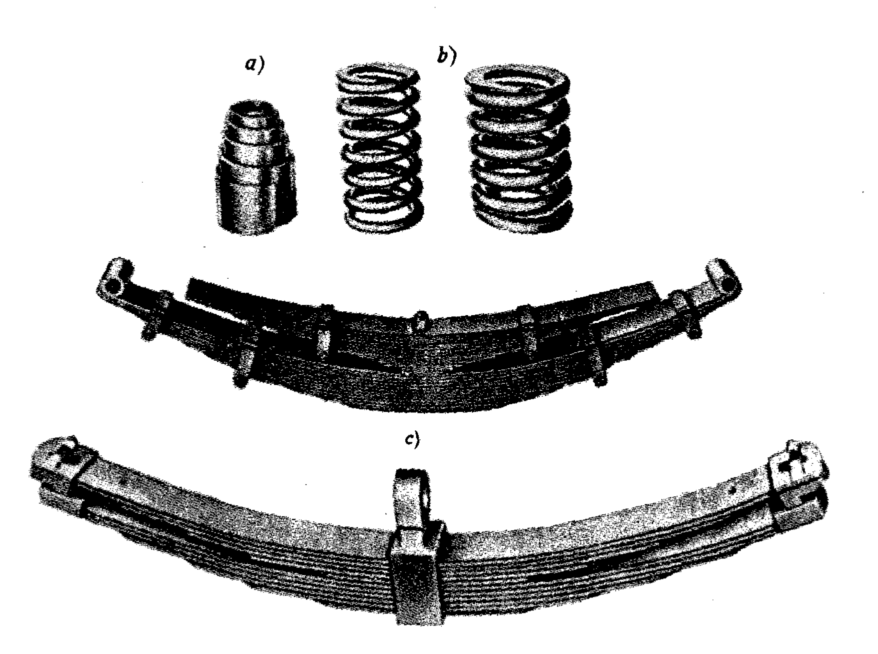


Fig. II, 539. *Fotografías de algunos muelles industriales:* a) de amortiguamiento; b) cilíndricos helicoidales; c) de ballesta.

		Características	Fórmulas de cálculo y observaciones
MUELLES de flexión (sometidos principalmente a flexión)	de flexión simple	rectangular (de sección constante)	$P = \frac{1}{6}\frac{bh^2}{l} \cdot k_f$ $f = \frac{1}{3}\frac{Pl^3}{JE} = 4\frac{l^3}{bh^3}\frac{P}{E} = \frac{2}{3}\frac{l^2}{h}\frac{k_f}{E}$
		triangular (de sección decreciente)	$P = \frac{1}{6}\frac{bh^2}{l} \cdot k_f$ $f = \frac{1}{2}\frac{Pl^3}{JE} = 6\frac{l^3}{bh^3}\frac{P}{E} = \frac{l^2}{h}\frac{k_f}{E}$
		de ballesta sencilla	
	de hojas	de extremo en triángulo	El tipo con extremo en triángulo se calcula como un muelle triangular simple, de longitud **l** y de base **nb**, de hojas (en el ejemplo 4). Se divide de **nb** en **2n** partes iguales y por los puntos de división se trazan paralelas a **l**. Las dos secciones centrales constituyen la primera hoja; las secciones **2a** y **2b**, reunidas dan la segunda hoja; **3a** y **3b** la tercera hoja, etc. $P = \frac{1}{6}\frac{(nb) \cdot h^2}{l} k_f \quad n = \frac{6}{bh^2}\frac{Pl}{k_f} \quad f = 6\frac{l^3}{nbh^3}\frac{P}{E} = \frac{l^2}{h}\frac{k_f}{E}$
		con extremo en trapecio y perfil parabólico	Para el tipo con extremo en trapecio, con perfil parabólico, el espesor **z** del extremo de las hojas es: $z = h\sqrt[3]{\frac{1}{1 + \frac{b_1}{b}\left(\frac{a}{x} - 1\right)}};$
		de hojas rectangulares y perfil parabólico	para el mismo tipo, pero rectangular: $z = h\sqrt{\frac{\frac{x}{l}}{n}}$
	de ballesta		$P(l + p\,tg\alpha) = \frac{nbh^2}{p} k_f$ (Pues se puede sustituir p_0 por p) $f = p_0 - p = 6\frac{l^2}{nbh^3}(l + p\,tg\alpha)\frac{P}{E} = \frac{l^2}{h}\frac{k_f}{E}$

			Características		Fórmulas de cálculo y observaciones
MUELLES	de flexión (continuación)	en espiral	Sec. A-A		Alambre de sección rectangular: $P = \frac{1}{6} \frac{bh^2}{r} k_f \quad f = \frac{Plr^2}{JE} = 12 \frac{lr^2}{bh^3} \frac{P}{E} = \frac{2}{E} \frac{rl}{h} k_f$ Alambre de sección circular, diámetro **d** $P = \frac{\pi}{32} \frac{d^3}{r} k_f \quad f = \frac{Plr^2}{JE} = \frac{64}{\pi} \frac{lr^2}{d^4} \frac{P}{E} = \frac{2}{E} \frac{rl}{d} k_f$
		de disco	serie de muelles de disco		Para el cálculo se emplean tablas y datos experimentales que proporcionan los constructores, reproducidos parcialmente.
	de torsión (sometidos principalmente a torsión)	helicoidales cilíndricos		alambre de sección circular de diámetro **d**	La carga tiene la dirección del eje del resorte. Según el sentido del esfuerzo los resortes son a tracción o a compresión. La flecha depende de la longitud del desarrollo del resorte y es por lo tanto independiente del radio medio de la hélice y del paso.
				alambre de sección rectangular **b × h**	**Para resorte cilíndrico:** Alambre de sección circular $P = \frac{\pi d^3}{16r} k_t \cong \frac{1}{5} \frac{d^3}{r} k_t$ $f = 64 \frac{nr^3}{d^4} \frac{P}{G} = 4\pi \frac{nr^2}{d} \frac{k_t}{G}$
		helicoidales cónicos		alambre de sección circular de diámetro **d**	Alambre de sección rectangular: $P = \frac{2}{9} \frac{hb^2}{r} k_t \; ; \quad f = \mu 6\pi nr^3 \frac{b^2 + h^2}{b^3h^3} \frac{P}{G}$ **Para resorte cónico:** Alambre de sección circular $P = \frac{\pi}{16} \frac{d^3}{r} k_t \cong \frac{1}{5} \frac{d^3}{r} k_t$ $f = \frac{16}{\pi} \frac{lr^2}{d^4} \frac{P}{G} = \frac{lr}{d} \frac{k_t}{G}$
				barrita de sección rectangular **b × h** **de amortiguamiento**	Alambre de sección rectangular: $P = \frac{2}{9} \frac{hb^2}{r} k_t \; ; \quad f = \mu \frac{3}{2} lr \frac{b^2 + h^2}{bh^3} \frac{k_t}{G}$ Para los metales: G = 0,385 E (G módulo de elasticidad de deslizamiento) μ = 1,2 para sección cuadrado = 1,2 ÷ 1,5 para sección rectangular siempre más alargada.

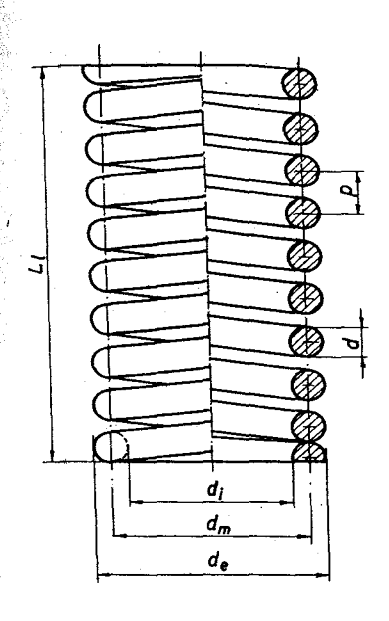


Fig. II, 540. *Resorte cilíndrico a compresión, de sección circular.*

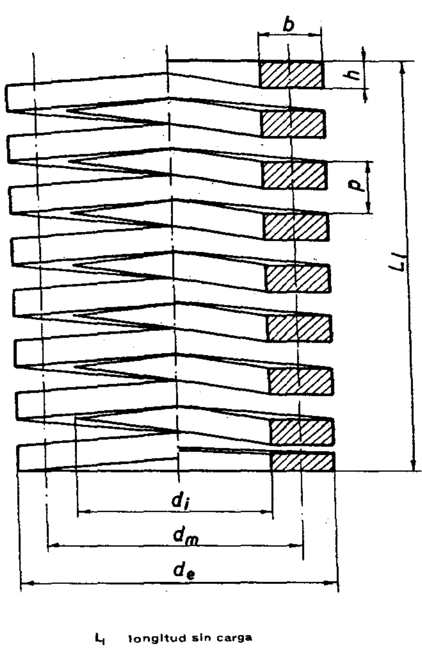


Fig. II, 541. *Resorte cilíndrico a compresión, de sección rectangular.*

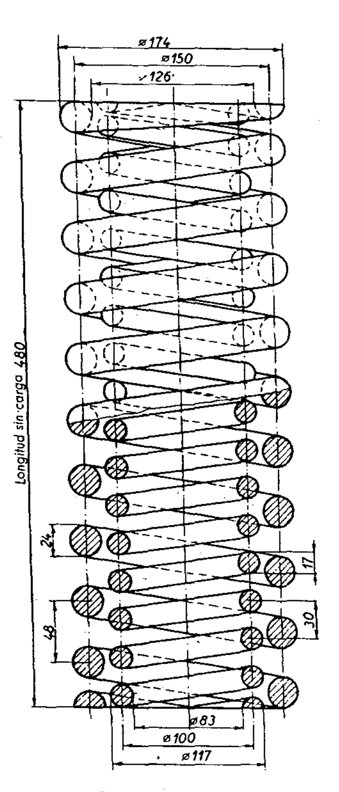


Fig. II, 542. *Esquema de muelle doble concéntrico.*

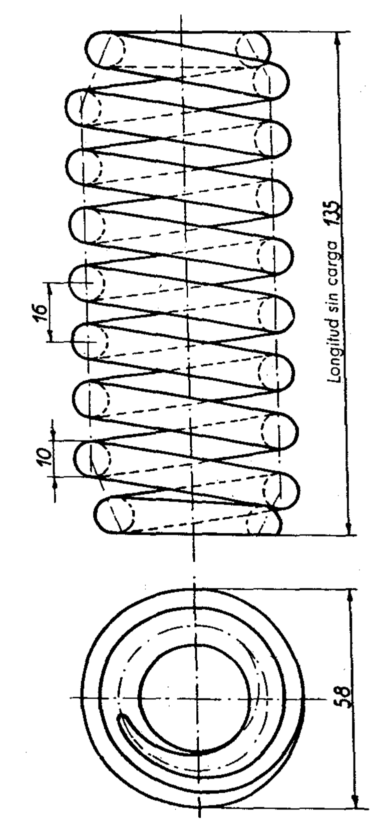


Fig. II, 543. *Resorte cilíndrico, con espiras extremas de menor diámetro, para facilitar el montaje en cilindros con ensanche lateral.*

Los muelles a tracción pueden tomar las formas indicadas en las figuras II, 544-547. Finalmente, en las figuras II, 548-549 se han representado dos resortes cilíndricos a torsión.

101. Materiales para la fabricación de los muelles

Los muelles se construyen generalmente de acero; para algunas aplicaciones especiales pueden emplearse también el cobre endurecido, el latón, etcétera.

Las calidades de aceros para muelles están unificadas en la tabla experimental **UNI 3545 S**. En ella se especifican los aceros al carbono, aceros al silicio, al cromo-vanadio y al cromo-silicio. Para todas las calidades de aceros unificados se indica también en la tabla la proporción de manganeso, que es siempre inferior al 1 %. Las principales características de estos aceros unificados se hallarán en la tabla 229, en el capítulo I de la tercera parte, que trata de materiales.

Los aceros al carbono, con contenido de carbono entre el 0,40 y el 1,10 %, contienen una proporción de silicio inferior al 0,35 % y se emplean principalmente para construir muelles con un material que, por su elevado grado de maleabilidad, no ofrezca peligro de resquebrajarse al arrollarlo. Las calidades con me-

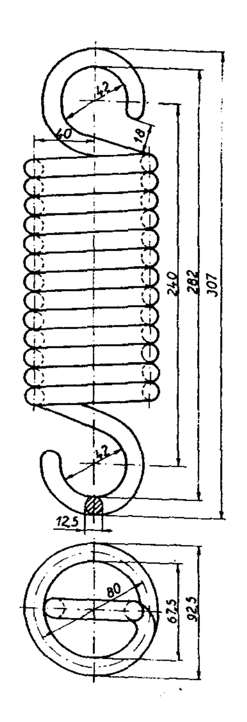


Fig. II, 544. *Muelle cilíndrico a tracción, tipo normal.*

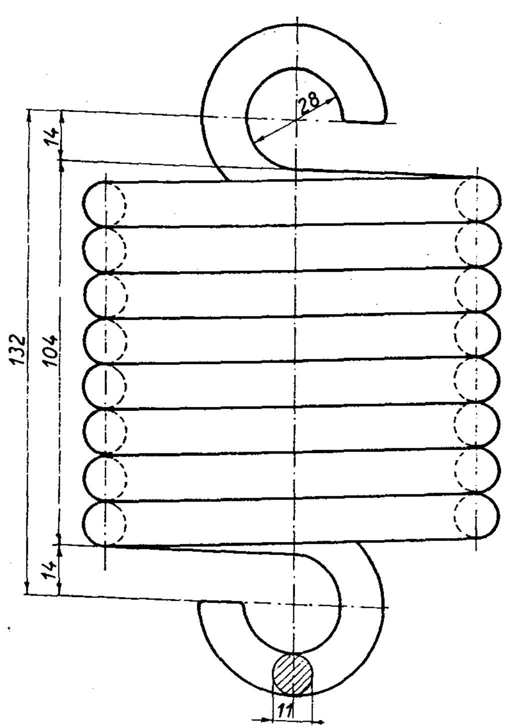


Fig. II, 545. *Muelle cilíndrico a tracción, de tipo muy reforzado.*

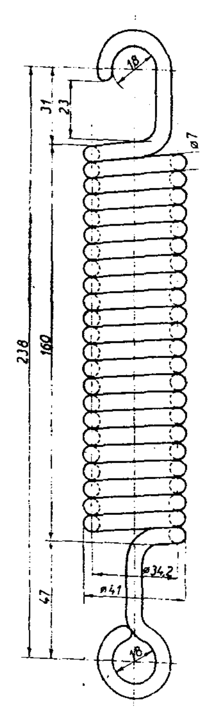


Fig. II, 546. *Muelle cilíndrico a tracción doble, concéntrico*

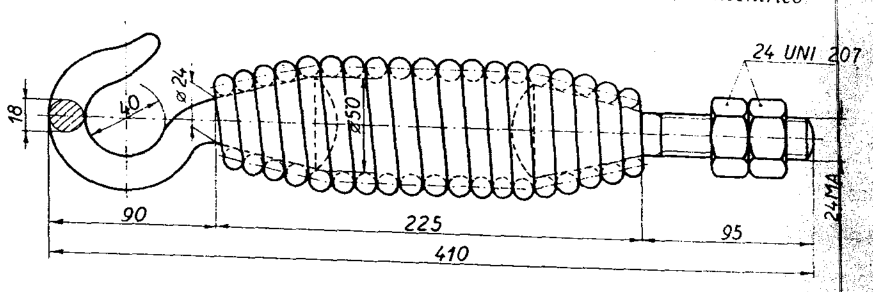


Fig. II. 547. *Muelle de tracción con gancho y fijación roscada.*

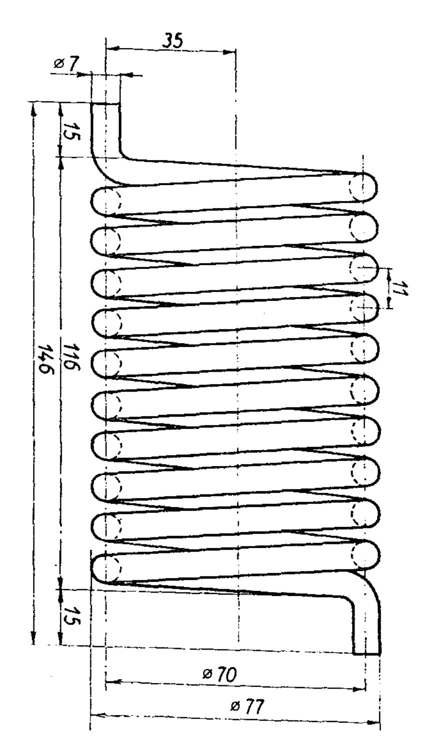


Fig. II, 548. *Tipo corriente de muelle de retroceso a torsión.*

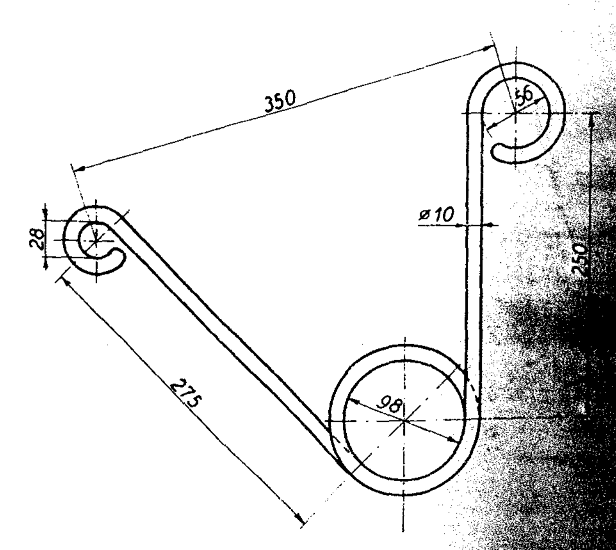


Fig. II, 549. *Muelle de retroceso para mecanismo de palanca, funcionando a torsión.*

nor contenido de carbono se emplean para muelles corrientes. Para más detalles véase la tabla 229 de que se ha hecho mención.

Los aceros con notable contenido de silicio (hasta el 2,2 %) son muy apreciados por su elevada resistencia y sus excelentes propiedades elásticas, aun a temperaturas relativamente altas. Estos aceros se emplean también en la construcción de órganos de máquinas distintos de los muelles.

Los aceros que se hayan de trabajar en frío necesitan un recocido previo; en cambio, por lo general, los que se trabajan en caliente no lo necesitan.

Las barras redondas para resortes, estiradas en caliente, bien fabricadas, presentan una superficie lisa y una sección perfectamente circular; generalmente se las somete a un tratamiento de rodadura que elimina las pequeñas imperfecciones del laminado. En este caso, las tolerancias de forma tanto cilíndrica como circular quedan limitadas como máximo a 0,1 ÷ 0,2 milímetros.

Para los muelles de alta calidad, en los que se exige una gran precisión, gran resistencia a la fatiga y larga duración de funcionamiento, se emplean barras de acero laminado, a las que se quita la capa superficial, reduciendo, por ejemplo, un diámetro de 24 mm a 22 mm y que se someten a un rectificado en una máquina sin centros, para eliminar completamente la capa descarburada que recubre el acero perfecto del interior.

El empleo de aceros al cromo-silicio o al cromo-vanadio permite la fabricación de muelles que trabajen a temperaturas comprendidas entre 200° y 400° C, por conservar sus propiedades elásticas a tales temperaturas. Para trabajar a temperaturas más altas hay que recurrir a aceros especiales de tipo rápido, que acostumbran estar patentados.

Los alambres redondos de acero para resortes trefilados endurecidos, están divididos en 5 clases (UNI 3823) con características que van mejorando progresivamente desde la clase A a la E. En dicha tabla se indica la carga de rotura de todos los alambres de las cinco clases. Las normas alemanas DIN dividen también estos alambres en 5 clases; pero las variaciones de las características van en sentido inverso al de las normas UNI, porque la clase I DIN corresponde a la clase E del UNI y la clase V DIN corresponde a la A del UNI.

Para los resortes helicoidales en acero cuadrado se ha de advertir que, si se emplea varilla de sección cuadrada, dado el mayor desarrollo que presenta el borde exterior comparado con el interior, la sección de la varilla, después del arrollamiento, adoptará la forma trapecial, con la base mayor en el interior. Por lo tanto, cuando el resorte esté completamente comprimido, tendrá más altura que la que le correspondería si la sección de la varilla fuese cuadrada y presentará un aspecto antiestético. La deformación es naturalmente tanto mayor cuanto menor sea el diámetro de las espiras en relación con el lado de la sección cuadrada de la varilla. Por este motivo, para fabricar muelles perfectos, se han de emplear varillas de sección trapecial, arrolladas con la base mayor en la parte exterior del resorte; a consecuencia del aumento de la altura del lado interior, la sección de la varilla puede resultar perfectamente cuadrada después del arrollamiento.

En Italia apenas hay nada unificado sobre muelles, fuera de la tabla antes citada de las calidades de los aceros para muelles, de la tabla UNI 3823 sobre alambres redondos de acero estirado endurecido, de la UNI 3871 sobre redondos de acero laminado para muelles, con las tolerancias correspondientes, y de las UNI 1659 y 1660 sobre las secciones de las hojas de ballesta para automóviles y camiones.

Para los muelles espirales se copia una tabla del ILVA, que incluye especialmente los tipos empleados por los Ferrocarriles del Estado italiano (tabla 180).

102. Muelles de disco

Los muelles de disco, llamados también arandelas cónicas o arandelas Belleville por el nombre del ingeniero francés que las patentó en 1866, merecen particular atención, ya que sus características les dan cada día mayor aplicación. Recordamos entre ellas:

1) La fuerza se transmite en sentido perfectamente axial.

2) El diagrama fuerza-deformación varía según la proporción entre la altura h del muelle descargado y el espesor s de la chapa (fig. II, 550); así, por ejemplo, con poca altura y fuerte espesor se tiene gran rigidez y gran capacidad para soportar grandes cargas.

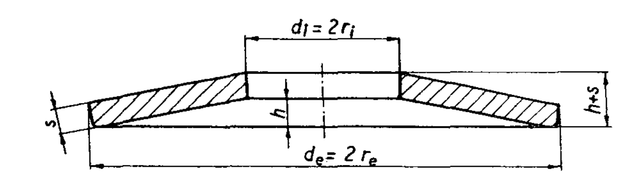


Fig. II, 550. *Elemento de muelle de disco.*

3) Se pueden montar en paralelo, con gran sencillez, varias arandelas cónicas (fig. II, 551 *a*), con lo que se multiplica la fuerza que soportan.

4) Se pueden poner en serie varios elementos, con lo que se multiplica proporcionalmente la deformación elástica (fig. II, 551 *b*). Esta propiedad permite modificar los muelles con gran facilidad, mediante el aumento o disminución de sus elementos.

5) Superponiendo dos o más arandelas del mismo diámetro y de igual o diferente espesor, el conjunto actúa como una arandela única del mismo diámetro y de espesor igual a la suma de los espesores de las arandelas.

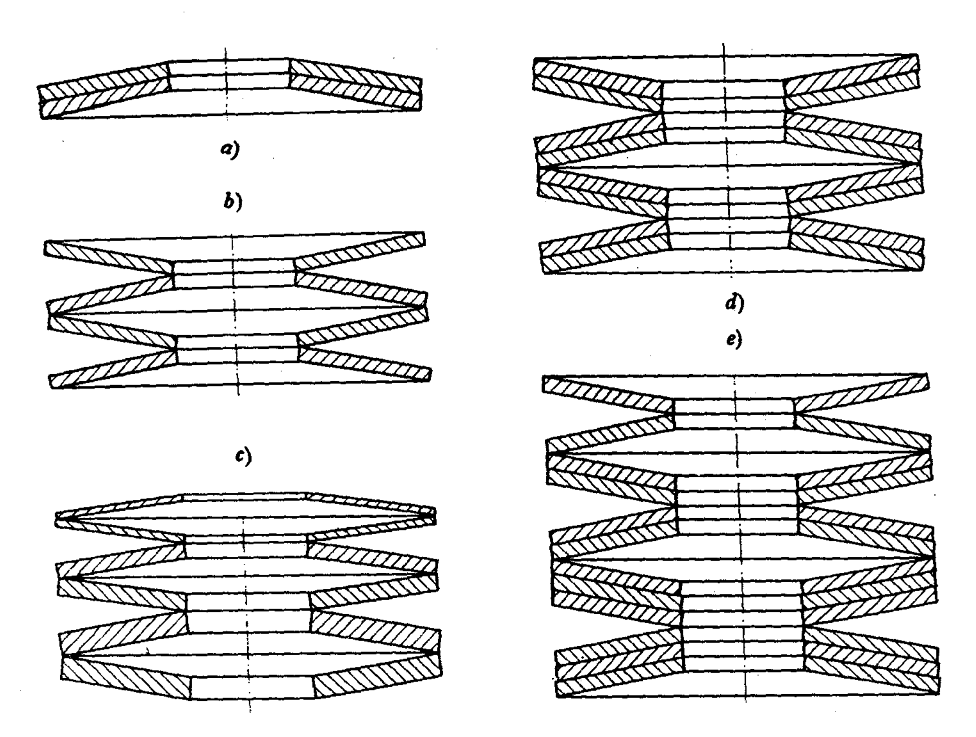


Fig. II, 551. *Montaje típico de muelles de disco:* a) *Dos muelles del mismo espesor en paralelo permiten doblar la carga para la misma deformación.* b) *Los muelles iguales superpuestos en serie, multiplican la deformación a igualdad de carga.* c) *Poniendo en serie arandelas de diferentes espesores se pueden obtener combinaciones cuya rigidez aumente al aumentar la deformación.* d), e) *Poniendo en serie paquetes de arandelas de composición conveniente se pueden obtener las características que se deseen.*

6) Disponiendo en serie arandelas simples de diferentes espesores (fig. II, 551 *c*) o elementos formados por conjuntos de arandelas convenientemente compuestos (fig. II, 551 *d, e*), se pueden obtener combinaciones de rigidez que aumenta con la deformación (diagrama con la concavidad hacia arriba).

7) Gran resistencia a la fatiga y máxima seguridad de funcionamiento, por cuanto la rotura de una arandela no deja el muelle fuera de servicio.

8) Sencillez de la guía axial (generalmente interior), que tolera esfuerzos unitarios de flexión más elevados que cualquier otro tipo de muelle.

9) Menor necesidad de espacio para colocar un muelle de este tipo comparado con el que necesita el muelle espiral correspondiente.

Los muelles de disco de gran espesor tienen el diámetro $\mathbf{d}_e/\mathbf{s} < 30$; los delgados tienen $\mathbf{d}_e/\mathbf{s} < < 50 \div 100$.

El diagrama de la carga que resiste un muelle de disco en función de la flecha **f** de deformación, depende, como se ha dicho, de la relación entre la altura **h** del muelle (fig. II, 550) y el espesor del material **s**.

Para una relación pequeña ($< \sqrt{2}$), la característica es aproximadamente rectilínea (*a*); si la relación es mayor que $\sqrt{2}$, resulta una característica descendente (*b*) (fig. II, 552).

El cálculo de los muelles de disco, considerados como un disco cónico y prescindiendo de las pequeñas tensiones radiales, lo han efectuado Alme y Laszlo.

Dicho cálculo se ha simplificado por Siegfried Gross para hacerlo de más fácil aplicación, y se puede ver en varios textos y especialmente en el manual Schnorr. A continuación damos un esquema del mismo.

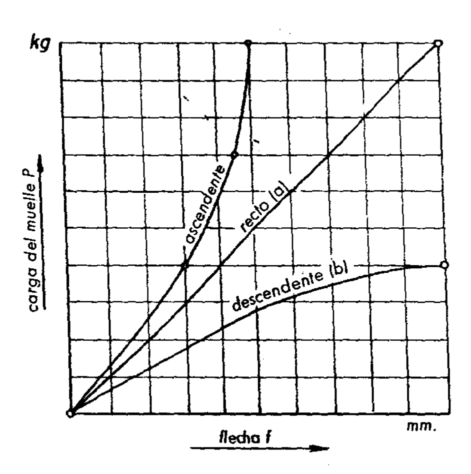


Fig. II, 552. *Diagrama de las cargas que puede soportar un muelle de disco o una combinación de varios muelles en serie o en serie-paralelo, en función de la flecha de deformación.*

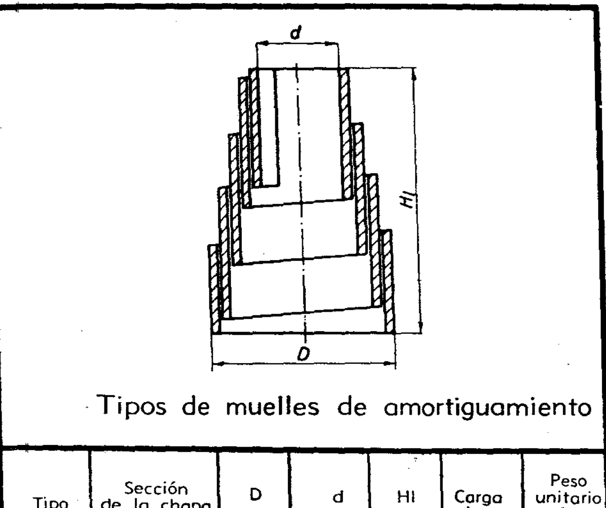
Siendo $\mathbf{d}_e$ y $\mathbf{d}_i$ respectivamente los diámetros exterior e interior y $\mathbf{r}_e$ y $\mathbf{r}_i$ los radios exterior e interior, expresados todos en mm;

s el espesor del material en mm;

h la altura de un platillo en mm;

f la flecha en mm producida por una carga **P**, en kilogramos;

Tabla 180



Tipos de muelles de amortiguamiento

Tipo	Sección de la chapa mm	D mm	d mm	Hl mm	Carga kg	Peso unitario teórico kg
—	70 × 4,5	70	28	100	1.400	1,4
21 F.S.	130 × 7,5	180	65	330	4.000	17,–
19 F.S.	130 × 8,5	152	62	230	5.000	12,5
20 F.S.	145 × 10	170	62	230	7.000	18,–
22 F.S.	130 × 10,5	196	64	250	8.000	21,5
17 F.S.	152 × 14	216	64	215	12.000	31,–
IF 16	150 × 14,5	180	84	250	19.000	18,–
—	200 × 22	290	93	320	35.000	76,–

Hl = Altura del muelle sin carga.

α, β, γ tres coeficientes que se hallan en la tabla 181, en función de la relación $\mathbf{d}_i/\mathbf{d}_e$;

σ la tensión en kg/mm² producida junto al borde interior del platillo, se tienen las dos fórmulas siguientes:

$$(1) \qquad \mathbf{P} = \frac{\mathbf{f} \cdot \mathbf{s}}{\alpha \cdot \mathbf{r}_e^2}\left[(\mathbf{h}-\mathbf{f})(\mathbf{h}-\frac{\mathbf{f}}{2}) + \mathbf{s}^2\right] \text{ kg};$$

$$(2) \qquad \sigma = \frac{\mathbf{f}}{\alpha \cdot \mathbf{r}^2_e}\left[\beta(\mathbf{h}-\frac{\mathbf{f}}{2} + \gamma \mathbf{s}\right] \text{ kg/mm}^2.$$

La carga máxima que puede soportar es la que deja el muelle completamente plano ($\mathbf{f}_{máx} = \mathbf{h}$); entonces, reduciéndose a cero el valor de las expresiones incluidas en los paréntesis pequeños de la fórmula (1), resulta:

$$(3) \qquad \mathbf{P}_{máx} = \frac{\mathbf{h} \cdot \mathbf{s}^3}{\alpha \cdot \mathbf{r}_e^2} \text{ kg}.$$

Con una relación $\mathbf{d}_i/\mathbf{d}_e = 0{,}475$ se tiene la elasticidad más ventajosa, mientras que con $\mathbf{d}_i/\mathbf{d}_e = 0{,}575$ se tiene la máxima capacidad de trabajo (tabla 181).

Calculada $\mathbf{P}_{máx}$ para el valor máximo de la flecha ($\mathbf{f}_{máx} = \mathbf{h}$), se pueden determinar los valores de las cargas correspondientes a cualquier flecha, fracción de la flecha máxima, por ejemplo $1/4\ \mathbf{f}_{máx}$; $1/8\ \mathbf{f}_{máx}$; etcétera; aplicando la fórmula (1). Mas para ahorrar

Tabla 181

Coeficientes para el cálculo de los muelles de disco

$\frac{d_i}{d_e}$	$\alpha \cdot 10^4$ mm²/Kg	β	γ	$\frac{d_i}{d_e}$	$\alpha \cdot 10^4$ mm²/Kg	β	γ	$\frac{d_i}{d_e}$	$\alpha \cdot 10^4$ mm²/Kg	β	γ
0,25	0,342	1,620	2,100	0,41	0,324	1,320	1,549	0,57	0,267	1,156	1,279
0,26	0,342	1,595	2,044	0,42	0,322	1,307	1,528	0,58	0,262	1,148	1,266
0,27	0,3415	1,571	1,992	0,43	0,320	1,294	1,508	0,59	0,2565	1,141	1,254
0,28	0,341	1,548	1,944	0,44	0,3175	1,282	1,488	0,60	0,251	1,134	1,242
0,29	0,3405	1,525	1,900	0,45	0,315	1,271	1,469	0,61	0,246	1,127	1,230
0,30	0,3395	1,503	1,860	0,46	0,312	1,260	1,450	0,62	0,241	1,120	1,219
0,31	0,339	1,481	1,823	0,47	0,3085	1,249	1,432	0,63	0,236	1,113	1,208
0,32	0,338	1,460	1,788	0,48	0,305	1,238	1,414	0,64	0,2305	1,106	1,198
0,33	0,3365	1,441	1,755	0,49	0,3015	1,227	1,397	0,65	0,225	1,100	1,188
0,34	0,3355	1,423	1,723	0,50	0,298	1,217	1,381	0,66	0,220	1,094	1,178
0,35	0,334	1,406	1,693	0,51	0,294	1,207	1,365	0,67	0,215	1,088	1,169
0,36	0,333	1,390	1,665	0,52	0,2895	1,198	1,350	0,68	0,210	1,082	1,160
0,37	0,331	1,375	1,639	0,53	0,285	1,189	1,335	0,69	0,205	1,076	1,152
0,38	0,3295	1,361	1,615	0,54	0,2805	1,180	1,320	0,70	0,200	1,070	1,144
0,39	0,3275	1,347	1,592	0,55	0,276	1,172	1,306	—	—	—	—
0,40	0,326	1,333	1,570	0,56	0,2715	1,164	1,292	—	—	—	—

Tabla 182

Coeficientes para el cálculo de las cargas de los muelles de disco

$\frac{h}{s}$	$f=\frac{h}{8}$	$f=\frac{h}{4}$	$f=\frac{3h}{8}$	$f=\frac{h}{2}$	$f=\frac{5h}{8}$	$f=\frac{3h}{4}$	$f=\frac{7h}{8}$	$f=h$
0,1	0,126	0,252	0,376	0,502	0,626	0,751	0,875	1
0,2	0,129	0,256	0,383	0,508	0,632	0,755	0,877	1
0,3	0,134	0,265	0,392	0,517	0,640	0,761	0,880	1
0,4	0,141	0,276	0,406	0,530	0,651	0,769	0,885	1
0,5	0,151	0,291	0,423	0,547	0,665	0,779	0,890	1
0,6	0,162	0,309	0,444	0,567	0,684	0,792	0,897	1
0,7	0,175	0,330	0,468	0,592	0,705	0,808	0,905	1
0,8	0,191	0,355	0,497	0,620	0,729	0,825	0,915	1
0,9	0,208	0,383	0,530	0,653	0,755	0,845	0,925	1

$\frac{h}{s}$	$f=\frac{h}{8}$	$f=\frac{h}{4}$	$f=\frac{3h}{8}$	$f=\frac{h}{2}$	$f=\frac{5h}{8}$	$f=\frac{3h}{4}$	$f=\frac{7h}{8}$	$f=h$
1,0	0,228	0,414	0,566	0,688	0,786	0,867	0,939	1
1,1	0,249	0,449	0,605	0,727	0,820	0,892	0,950	1
1,2	0,273	0,486	0,650	0,770	0,857	0,919	0,964	1
1,3	0,298	0,528	0,698	0,817	0,898	0,950	0,980	1
1,4	0,326	0,571	0,750	0,867	0,942	0,980	0,995	1
1,5	0,356	0,620	0,804	0,923	0,988	1,015	1,015	1
1,6	0,388	0,670	0,863	0,980	1,038	1,050	1,033	1
1,7	0,422	0,725	0,925	1,042	1,090	1,090	1,052	1
1,8	0,457	0,782	0,993	1,108	1,148	1,130	1,074	1

tiempo y cálculos, se puede sencillamente multiplicar la carga máxima por el coeficiente correspondiente que se encuentra en la tabla 182, en función del valor de la flecha y de la relación **h/s.**

Para determinar la tensión máxima, combinando las fórmulas (2) y (3), se tiene:

$$\text{(4)} \quad \sigma_{max} = \frac{s^2}{\alpha \cdot r_e^2} \cdot \frac{f}{s} \left[\beta \left(\frac{h}{s} - \frac{f}{2s} \right) + \gamma \right] = $$

$$= P_{max} \cdot \frac{f}{s^2 \cdot h} \left[\beta \left(\frac{h}{s} - \frac{f}{2s} \right) + \gamma \right]$$

Para los valores de **f** iguales a fracciones sencillas de **h**, se tiene:

$$\text{con } f = h \qquad \sigma = \frac{P_{máx}}{s^2} \cdot \left[\frac{h\beta}{2s} + \gamma \right]$$

$$\text{con } f = \frac{1}{4} h \qquad \sigma = \frac{P_{máx}}{4s^2} \cdot \left[\frac{7h\beta}{8s} + \gamma \right]$$

$$\text{con } f = \frac{1}{2} h \qquad \sigma = \frac{P_{máx}}{2s^2} \cdot \left[\frac{3h\beta}{4s} + \gamma \right]$$

$$\text{con } f = \frac{3}{4} h \qquad \sigma = \frac{3\, P_{máx}}{4s^2} \cdot \left[\frac{5h\beta}{8s} + \gamma \right]$$

Últimamente se han propuesto otros métodos de cálculo para los muelles de disco; pero su empleo no ha tenido todavía suficiente aceptación en la industria para poder afirmar si pueden sustituir a los métodos empleados anteriormente.

De todas formas se ha de tener presente que el valor de la carga que se puede aplicar a un muelle de disco depende del tipo de carga; un muelle dado soporta una carga estática notablemente superior a una carga dinámica.

En cuanto a la calidad del acero empleado en la construcción de los muelles de disco, se ha de notar que no figura en las fórmulas de cálculo adoptadas, porque están basadas en el módulo de elasticidad **E** del acero, que para todos los aceros tiene un valor aproximado de 21 000 kg/mm²; pero la calidad del acero tiene una importancia esencial para la duración de los muelles. La casa Schnorr emplea para los muelles de disco acero al cromo-vanadio 50 Cr V 4 de las normas DIN, correspondiente al **50 CV 4 UNI 3545.**

Las características de los muelles de disco dependen de la relación **h/s,** como se ha dicho repetidamente, y por lo tanto del grado de convexidad de los platillos.

Los muelles de gran espesor con respecto a d_e tienen poca convexidad y por lo mismo poca altura **h**; estos muelles en los que la relación **h/s** es muy inferior a 1 se llaman *muelles duros*. Al aumentar esta relación los muelles van siendo más flojos, o sea, que a igualdad de carga dan flechas cada vez mayores, llegando a ser flojísimos para los valores máximos admitidos de **h/s**, alrededor de 1,6 (a veces 1,7). Se ha de tener presente que los muelles tienen tendencia a la reversibilidad bajo la acción de la carga, para los valores comprendidos entre 1,6 y 1,7.

Los muelles de disco de gran rigidez y para fuertes cargas, que sufren escasa deformación elástica bajo cargas elevadas, debido al poco espacio que ocupan, tienen aplicación en dispositivos de cortar y estampar, para amortiguamiento de masas en movimiento, en fundaciones de máquinas, etc. Los muelles de poca rigidez tienen, en cambio, un campo de aplicación semejante al de los muelles espirales; a veces no resultan convenientes en lugar de aquéllos, sino por el menor espacio que exigen, por la facilidad con que se puede modificar su rigidez, añadiendo o quitando algunas arandelas y por la perfecta axialidad de la carga.

En la tabla que sigue se indican los tipos de muelles de disco unificados según las normas alemanas DIN 2093; pero se ha de observar, aunque sólo sea para agotar el tema, que se emplean muchas otras medidas no unificadas de este tipo de muelles (tabla 183).

Muelles de disco según las normas DIN 2093

Medidas						Carga P (kg), flecha f (mm) y fuerza unitaria kg/mm²											
						f = 0,25 h			f = 0,50 h			f = 0,75 h			f = h		
d_e	d_i	s	h	h + s	$\frac{h}{s}$	P	f	σ	P	f	σ	P	f	σ	P	f	σ
8	4,2	0,3	0,25	0,55	0,833	5,4	0,062	90,6	9,3	0,125	171	12,2	0,187	241	14,7	0,250	300
8	4,2	0,4	0,20	0,60	0,500	8,1	0,050	81	15,2	0,100	155	21,6	0,150	223	27,8	0,200	285
10	5,2	0,4	0,30	0,70	0,750	9,1	0,075	88,5	16,1	0,150	166	21,6	0,225	238	26,5	0,300	298
10	5,2	0,5	0,25	0,75	0,500	12,6	0,062	81	23,6	0,125	155	33,6	0,187	224	43,2	0,250	285
12,5	6,2	0,5	0,35	0,85	0,700	12,3	0,087	79,5	22,1	0,175	152	30,1	0,262	215	37,3	0,350	271
12,5	6,2	0,7	0,30	1,00	0,428	24,6	0,075	83	47,1	0,150	160	67,8	0,225	231	88	0,300	296
14	7,2	0,5	0,40	0,90	0,800	12,4	0,100	77	21,6	0,200	145	28,8	0,300	205	34,9	0,400	257
14	7,2	0,8	0,30	1,10	0,375	29,3	0,075	73,5	56,4	0,150	142	82	0,225	206	107	0,300	265
16	8,2	0,6	0,45	1,05	0,750	17,7	0,112	77,5	31,4	0,225	147	42,2	0,337	208	51,7	0,450	261
16	8,2	0,9	0,35	1,25	0,389	37,4	0,087	74,4	72	0,175	144	104,5	0,262	208	136	0,350	268
18	9,2	0,7	0,50	1,20	0,715	24,2	0,125	78	43	0,250	148	58,5	0,375	210	72,3	0,500	264
18	9,2	1,0	0,40	1,40	0,400	46,5	0,100	75,3	89,4	0,200	145	130	0,300	210	168,6	0,400	271
20	10,2	0,8	0,55	1,34	0,690	31,4	0,137	78,3	56,5	0,275	149	77,3	0,412	212	96	0,550	267
20	10,2	1,1	0,45	1,55	0,409	56,4	0,112	70,4	108,2	0,225	145	156,6	0,337	210	203	0,450	270
22,5	11,2	0,8	0,65	1,45	0,813	31,6	0,162	77,5	55	0,325	146	73	0,487	207	88,2	0,650	259
22,5	11,2	1,25	0,50	1,75	0,400	71,5	0,125	75,5	137	0,250	145	198	0,375	210	259	0,500	270
25	12,2	0,9	0,70	1,60	0,778	37,8	0,175	74,5	66,3	0,350	141	88,6	0,525	200	108	0,700	250
25	12,2	1°5	0,55	2,05	0,367	107	0,137	78,2	207	0,275	152	300	0,412	220	393	0,550	284
28	14,2	1	0,80	1,80	0,800	49	0,200	76,5	85,5	0,400	145	114	0,600	205	138	0,800	256
28	14,2	1,5	0,65	2,15	0,433	107	0,162	77	204	0,325	149	293	0,487	214	380	0,650	275
31,5	16,3	1,25	0,90	2,15	0,720	81,7	0,225	82	146	0,450	156	197	0,675	221	244	0,900	279
31,5	16,3	1,75	0,70	2,45	0,400	144	0,175	75,5	276	0,350	146	400	0,525	210	520	0,700	271
35,5	18,3	1,25	1	2,25	0,800	75,5	0,250	75	132	0,500	142	175	0,750	200	213	1	251
35,5	18,3	2	0,80	2,80	0,400	192	0,200	77,5	370	0,400	150	536	0,600	216	698	0,800	278
40	20,4	1,5	1,15	2,65	0,767	114	0,287	80	202	0,575	151	270	0,862	214	330	1,150	268
40	20,4	2,25	0,90	3,15	0,400	240	0,225	77	461	0,450	149	668	0,675	214	870	0,900	277
45	22,4	1,75	1,30	3,05	0,744	157	0,325	82	278	0,650	155	375	0,975	219	460	1,300	275
45	22,4	2,5	1,00	3,50	0,400	285	0,250	75	548	0,500	145	795	0,750	209	1034	1,000	269
50	25'4	2,0	1,40	3,40	0,700	201	0,350	80	360	0,700	152	490	1,050	216	608	1,400	272
50	25,4	3,0	1,10	4,10	0,367	438	0,275	79	847	0,550	152	1234	0,825	220	1610	1,100	285
56	28,5	2,0	1,00	3,60	0,800	197	0,400	80	344	0,800	145	460	1,200	205	555	1,600	257
56	28,5	3,0	1,30	4,30	0,433	427	0,325	77	815	0,650	148	1175	0,975	214	1522	1,300	275
63	31	2,5	1,75	4,25	0,700	302	0,437	79	542	0,875	149	740	1,312	212	917	1,750	267
63	31	3,5	1,40	4,90	0,400	555	0,350	75	1067	0,700	144	1550	1,050	209	2010	1,400	269
71	36	2,5	2,00	4,50	0,800	298	0,500	74,5	521	1,000	141	693	1,500	200	840	2,000	250
71	36	4,0	1,60	5,60	0,400	760	0,400	77	1460	0,800	149	2120	1,200	215	2750	1,600	277
80	41	3	2,30	5,30	0,767	460	0,575	80	810	1,150	151	1085	1,725	214	1326	2,300	268
80	41	5	1,70	6,70	0,340	1220	0,425	78	2370	0,850	151	3470	1,275	220	4540	1,700	285
90	46	3,5	2,50	6,00	0,715	605	0,625	78	1080	1,250	148	1470	1,875	210	1810	2,500	264
90	46	5	2	7,00	0,400	1163	0,500	75	2235	1,000	148	3240	1,500	210	4220	2,000	270
100	51	3,5	2,80	6,30	0,800	580	0,700	74	1010	1,400	140	1348	2,100	197	1634	2,800	247
100	51	6,0	2,20	8,20	0,367	1760	0,550	79	3400	1,110	152	4950	1,650	220	6460	2,200	285
112	57	4,0	3,20	7,20	0,800	788	0,800	77	1370	1,600	145	1830	2,400	205	2220	3,200	256
112	57	6,0	2,50	8,50	0,417	1630	0,625	73,5	3120	1,250	142	4500	1,875	205	5850	2,500	263
125	64	5	3,50	8,50	0,700	1264	0,875	81	2265	1,750	153	3100	2,625	217	3830	3,500	273
125	64	8	2,60	10,60	0,325	3120	0,650	78	6050	1,300	151	8880	1,950	219	11640	2,600	284
140	72	5	4,00	9,00	0,800	1240	1,000	77	2160	2,000	145	2880	3,000	205	3490	4,000	257
140	72	8	3,20	11,20	0,400	3160	0,800	79,5	6070	1,600	154	8800	2,400	222	11450	3,200	286
160	82	6	4,50	10,50	0,750	1770	1,125	77,5	3140	2,250	146	4240	3,375	208	5180	4,500	261
160	82	10	3,50	13,50	0,350	5050	0,875	80,5	9760	1,750	156	14300	2,625	227	18000	3,500	293
180	92	6	5,10	11,10	0,850	1715	1,275	73	2960	2,550	137	3880	3,825	194	4650	5,100	242
180	92	10	4,00	14,00	0,400	4650	1,000	75,5	8940	2,000	145	12960	3,000	210	16870	4,000	271
200	102	8	5,60	13,60	0,700	3220	1,400	80	5780	2,800	152	7900	4,200	217	9760	5,600	325
200	102	12	4,20	16,20	0,350	6675	1,050	74,5	12920	2,100	144	18900	3,150	210	24700	4,200	270
225	112	8	6,50	14,50	0,813	3160	1,625	77,5	5500	3,250	146	7300	4,875	207	8820	6,500	259
225	112	12	5,00	17,00	0,417	6360	1,250	73,0	12200	2,500	140	17640	3,750	203	22850	5,000	260
250	127	10,0	7,00	17,00	0,700	5010	1,750	80	9000	3,500	152	12270	5,250	216	15200	7,000	272
250	127	14,0	5,60	19,60	0,400	9220	1,400	76	17700	2,800	147	25660	4,200	213	33400	5,600	274

Capítulo XIV

TUBERÍAS Y SUS UNIONES ACCESORIOS - GRIFOS - VÁLVULAS JUNTAS

103. Generalidades

Las tuberías se emplean para la conducción de fluidos: normalmente están formadas por elementos unidos convenientemente, mediante uniones apropiadas.

Las tuberías pueden estar constituidas con materiales diversos; la selección del material depende esencialmente de los elementos siguientes:

a) *naturaleza del fluido que pasa por la tubería;*

b) *condiciones físicas* (temperatura, presión, etcétera) del fluido.

Pasando por alto las tuberías de materia plástica y de materiales de tipo gres, de interés muy limitado para los dibujantes mecánicos, consideraremos los tubos de *fundición;* los tubos de *acero;* los tubos de *cobre;* los tubos de *bronce* y de *aleaciones especiales.*

Según las normas **UNI** (tabla 1282-84) que concuerdan sustancialmente con los trabajos del ISO, el tamaño de los diversos elementos que forman parte de una tubería (tubos, bridas, válvulas, etc.), se especifican unívocamente por el **diámetro nominal**, indicación convencional que representa aproximadamente el diámetro interior en milímetros de un elemento de la tubería.

El diámetro nominal se indica con **DN** seguido del correspondiente valor numérico: por ejemplo, **DN** 25.

Los diámetros nominales unificados son los siguientes: **1**; **1,5**; **2**; **2,5**; **3**; **4**; **5**; **6**; **8**; **10**; **15**; **20**; **25**; 32; **40**; **50**; **60**; **70**; **80**; 90; **100**; 110; **125**; **140**; **150**; **160**; 175; **200**; 225; **250**; 275; **300**; 325; **350**; 375; **400**; **425**; **450**; **475**; **500**; **525**; 550; **600**; 650; **700**; 750; **800**; **850**; **900**; **1000**; 1100; **1200**; 1300; **1400**; 1500; **1600**; **1800**; **2000**.

Escójanse siempre que sea posible los DN impresos en negrita.

Los elementos de las tuberías se calculan a base de la **presión nominal**, expresada en kg/cm², otro elemento convencional, determinado por la presión de trabajo, teniendo en cuenta las condiciones específicas de los fluidos (peligrosidad, temperatura, etcétera).

La presión nominal se indica con **PN** seguido del valor numérico correspondiente (por ejemplo, **PN 16**).

Las presiones nominales unificadas son las siguientes: **1**; 2; **2,5**; 3,2; **4**; 5; **6**; 8; **10**; 12,5; **16**; 20; **25**; 32; **40**; 50; **64**; 80; **100**; 125; **160**; 200; **250**; 320; **400**; 500; **640**; 800; **1000**.

Los elementos de las tuberías (bridas, grifos, válvulas, etc.) están unificados únicamente para las presiones nominales impresas en negrita, que son las recomendadas.

Las presiones de trabajo se dividen en tres categorías indicadas en números romanos I, II y III, según las condiciones de trabajo, y son las siguientes:

Categoría I (presión de trabajo admitida igual a 100 % de la **PN**): fluidos no peligrosos desde el punto de vista químico, con temperaturas hasta 120° C.

Categoría II (presión de trabajo de un 80 % de la **PN**): fluidos peligrosos con temperatura hasta 120° C, o bien fluidos no peligrosos con temperaturas comprendidas entre 120° C y 300° C.

Categoría III (presión de trabajo de un 64 % de la **PN**): fluidos no peligrosos a temperaturas comprendidas entre 300° y 400° C o bien fluidos muy peligrosos (por su composición química o por su temperatura).

104. Tuberías de fundición

Expuestas ya las consideraciones generales, podemos pasar a tratar de los diversos tipos de tuberías.

Los tubos de fundición se fabrican siempre por fusión, empleando la calidad de fundición **G 15 UNI 668** y pueden ser precisamente **(UNI 3355)** de dos clases:

a) *moldeados verticalmente en tierras desecadas;*

b) *moldeados por centrifugación en moldes metálicos y luego recocidos.*

Los tubos pueden además clasificarse por el sistema de unión de cada tubo con el anterior y el posterior: en efecto, hay **uniones de brida** (fig. II, 554) y **de enchufe** (fig. II, 553).

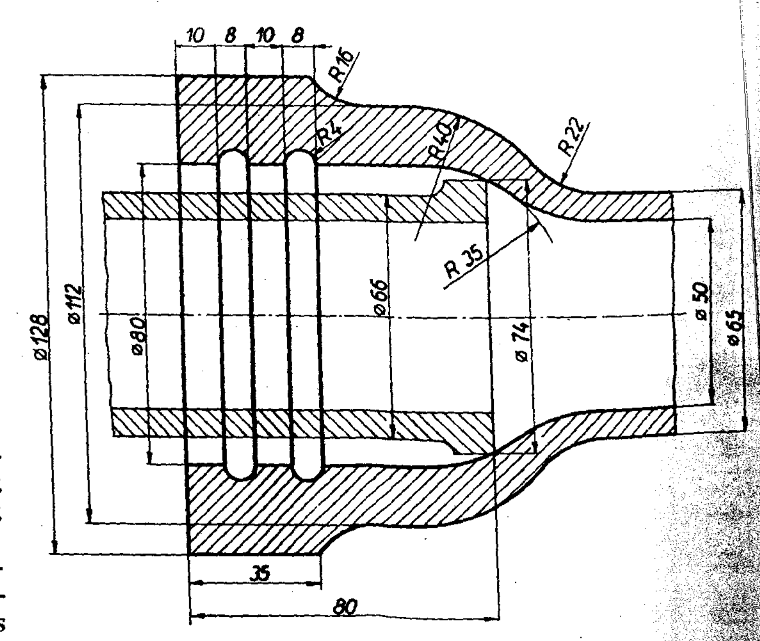
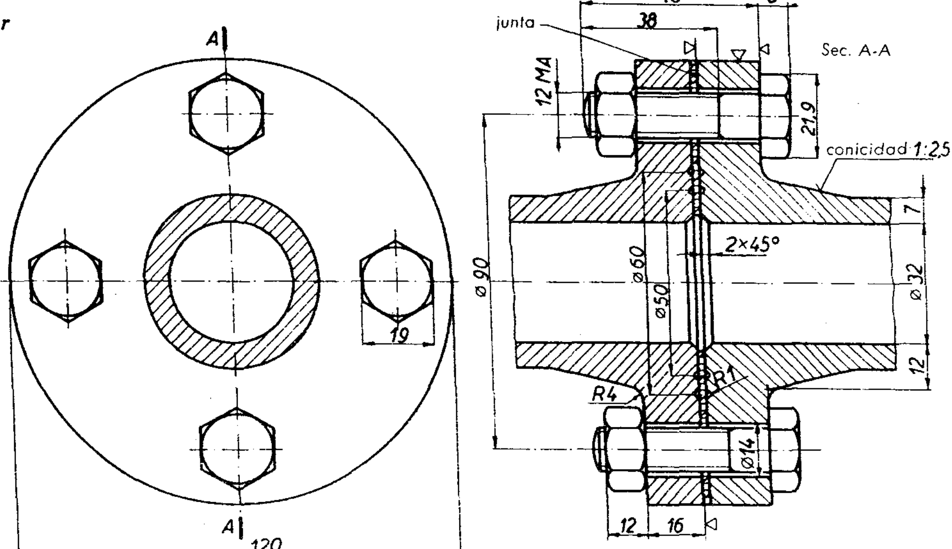


Fig. II, 553. *Unión de tubos por enchufe.*

Fig. II, 554. *Unión de tubos por bridas.*



Las piezas especiales de tuberías se funden siempre en moldes de tierra.

La tabla citada **UNI 3355** indica además las tolerancias usualmente admitidas en los diversos elementos de estos tubos (espesor, diámetro, longitud, rectitud, peso).

Las tuberías de fundición sólo pueden emplearse en la conducción de fluidos a poca presión, nunca superior a 10 kg/cm². Los diámetros varían entre 40 y 1200 mm; la longitud de los tubos rectos varía, según el diámetro, entre 2 y 4 metros. Las formas de los accesorios o piezas especiales (codos, derivaciones, reducciones, etc.), están unificadas en la tabla **UNI 3754,** de la que se ha extractado la tabla 184, en la que se indican los números correspondientes de las tablas UNI, para cada pieza.

Para cuanto haga referencia a las medidas de los diferentes tipos de tubos y demás elementos de las tuberías de fundición, véanse las tablas correspondientes (**UNI 3755 ÷ 3774**).

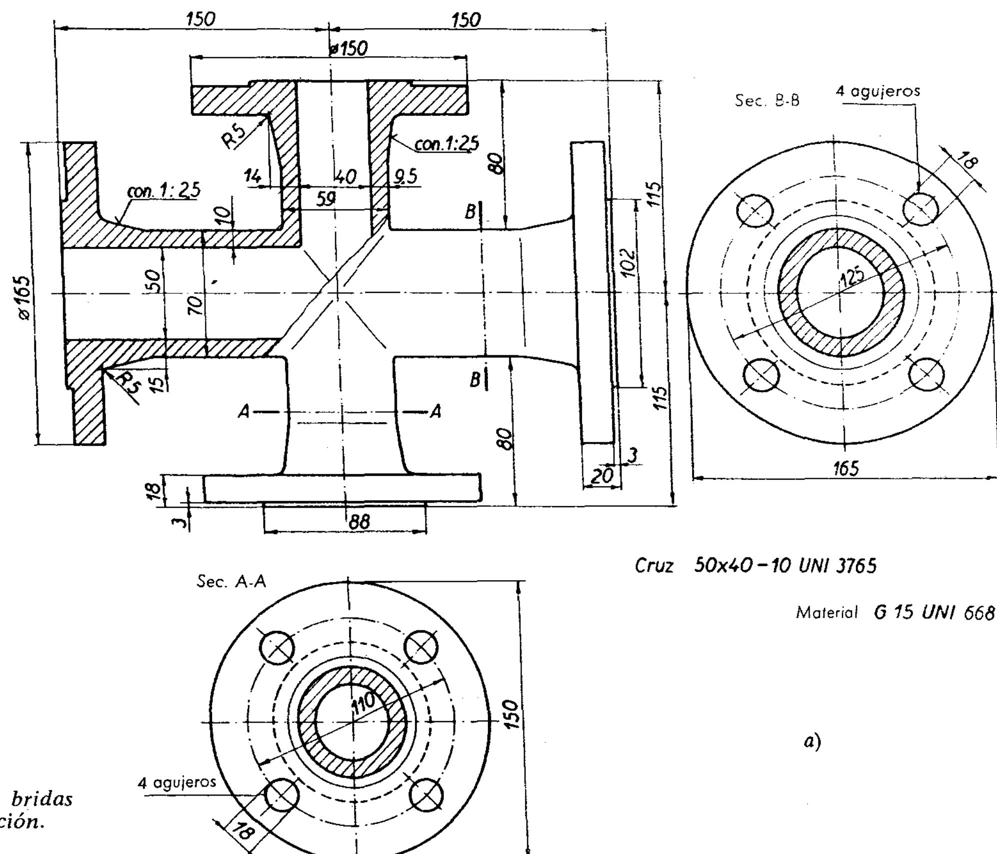


Fig. II, 555 a). *Cruz de bridas para tuberías de fundición.*

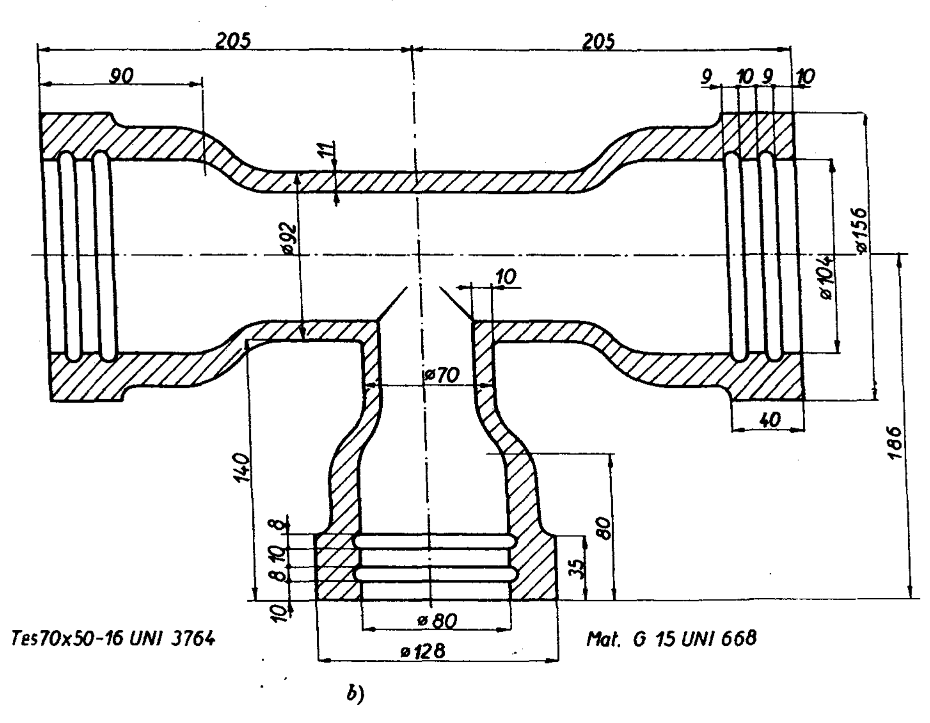
Tabla 184

Accesorios para tuberías de fundición

	Representación esquemática	Denominación		Diámetros nominales DN	Presiones nominales PN	Tabla UNI
Tubos		Tubos de enchufe	Fundidos verticalmente en moldes de tierra	40 ÷ 1000	6 10 16 20 25 32	3758
			Centrifugados y recocidos	60 ÷ 400	10 16 20 25 32	3759
		Tubos con bridas	Fundidos verticalmente en moldes de tierra	40 ÷ 800	10	3760
			Centrifugados y recocidos	60 ÷ 400	10	3761
Derivaciones		Derivación de enchufe	Sencilla	40 ÷ 700	16	3762
				40 ÷ 400	32	
			Doble	40 ÷ 700	16	
				40 ÷ 400	32	
		Derivación con bridas	Sencilla	40 ÷ 700	10	3763
				40 ÷ 400	32	
			Doble	40 ÷ 700	10	
				40 ÷ 400	32	
Tes y cruces		Tes	De enchufes	40 ÷ 700	16	3764
				40 ÷ 400	32	
			Con bridas	40 ÷ 700	10	3765
				40 ÷ 400	32	
		Cruces	De enchufes	40 ÷ 700	16	3764
				40 ÷ 400	32	
			Con bridas	40 ÷ 700	10	3765
				40 ÷ 400	32	
Reducciones		Reducciones de enchufe		50 ÷ 1000	16	3770
				50 ÷ 400	32	
		Reducciones con brida		50 ÷ 700	10	3771
				50 ÷ 400	32	
Uniones		Boquillas		40 ÷ 800	10	3774
				40 ÷ 400	32	
		Copas		40 ÷ 800	10	
				40 ÷ 400	32	

	Representación esquemática	Denominación		Diámetros nominales DN	Presiones nominales PN	Tabla UNI
Curvas	1/4	Curvas de enchufe, normales	de 1/4 a (90°)	40 ÷ 1000	16	3766
				40 ÷ 400	32	
	1/8		de 1/8 (a 45°)	40 ÷ 1000	16	
				40 ÷ 400	32	
	1/16		de 1/16 (a 22° 30')	40 ÷ 1000	16	
				40 ÷ 400	32	
	1/32		de 1/32 (a 11° 15')	40 ÷ 1000	16	
				40 ÷ 400	32	
	1/8	Curvas de enchufe, de gran radio	de 1/8 (a 45°)	150 ÷ 700	16	3767
				150 ÷ 400	32	
	1/16		de 1/16 (a 22° 30')	150 ÷ 700	16	
				150 ÷ 400	32	
	1/32		de 1/32 (a 11° 15')	150 ÷ 700	16	
				150 ÷ 400	32	
	1/4	Curvas con bridas, normales	de 1/4 (a 90°)	40 ÷ 700	10	3768
				40 ÷ 400	32	
	1/6		de 1/6 (a 60°)	40 ÷ 700	10	
				40 ÷ 400	32	
	1/8		de 1/8 (a 45°)	40 ÷ 700	10	
				40 ÷ 400	32	
	1/16	Curvas con bridas, de gran radio	de 1/16 (a 22° 30')	150 ÷ 700	10	3769
				150 ÷ 400	32	
	1/32		de 1/32 (a 11° 15')	150 ÷ 700	10	
				150 ÷ 400	32	
Manguitos		Manguitos	Sencillos	40 ÷ 1000	16	3772
				40 ÷ 400	32	
			Dobles	40 ÷ 1000	16	
				40 ÷ 400	32	
		Manguitos con derivación	Radial	40 ÷ 1000	16	3773
				40 ÷ 400	32	
			Tangencial	40 ÷ 1000	16	
				40 ÷ 400	32	

Fig. II, 555 b). *Derivación* T *con enchufe.*



105. Tuberías de acero

Los tubos de acero, desde el punto de vista de su fabricación se pueden clasificar en tubos soldados y tubos sin soldadura.

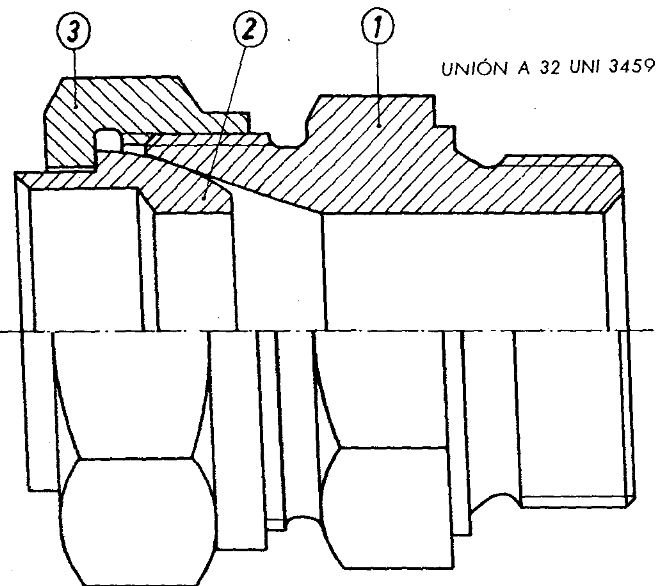
Otra clasificación corriente es por el sistema de unión, o sea, en *tubos lisos* (con extremos lisos para soldadura a tope) y *tubos roscados* (con extremos roscados para uniones por medio de manguitos roscados).

De los tubos de acero sólo hay una parte unificada.

Está dedicada a los tubos sin soldadura la tabla **UNI 663,** 3.ª edición del año 1951 (que sustituye las antiguas tablas **UNI 663-67),** de la cual se han sacado los datos que siguen:

Tubos de acero sin soldadura

- **Tubos comerciales.** *De fabricación corriente, sin características especiales, sometidos a presiones de prueba limitadas, de fácil mecanizado. Fabricados con* **A00 UNI 663.**
  - **Clase A** — Tubos de gas roscados corrientes (**UNI 341**) y reforzados (**UNI 342**); tubos de pozo ligeros (**UNI 1288**) y pesados (**UNI 1289**).
  - **Clase B** — Tubos lisos comerciales para la conducción de fluidos con temperaturas hasta 225° C y presiones nominales $\leq$ 25 kg/cm²; tubos para construcción, sin condiciones especiales.
- **Tubos de calidad.** *Fabricados con calidades de aceros de características especiales* (**Aq 35; Aq 45; Aq 55; Aq 65**) *y sometidos a ensayos determinados.* Construidos con *tolerancias normales* o con *tolerancias restringidas.*
  - **Clase C** — Tubos de calidad normal, sometidos a comprobación de las características del acero y a pruebas hidráulicas de presión. Para conducción de fluidos hasta 400° C, con alta presión; tubos de fabricación muy cuidadosa.
  - **Clase D** — Tubos de calidad superior. Además de las pruebas de la clase C han de someterse a ensayos de alargamiento, flexión, choques. Para aplicaciones de mucha importancia y siempre que se hayan de mandrilar.
- **Tubos especiales.** *Fabricados con materiales distintos de los antes indicados y para los que se exigen ensayos y características especiales* (en general aceros aleados).
  - **Clase E** — Tubos para usos especiales, para fluidos a temperaturas superiores a 400° C, etcétera.



Nº	Pieza	Material para la combinación A	B
1	Enchufe	Acero A 37 UNI 743 (estirado)	Latón OT 60 UNI 2012 o bien OTS 58 UNI 2012 o bien OT 63 UNI 1696
2	Ojiva	Acero A 37 UNI 743	Cobre CU 995 UNI 1704
3	Tuerca	Acero A 37 UNI 743 (estirado)	Latón OT 60 UNI 2012 o bien OTS 58 UNI 2012 o bien OT 63 UNI 1696

Fig. II, 556. *Empalme con cierre de ojiva, de extremo, roscado, para soldar al tubo. Los detalles están representados en la* figura II, 557.

Para lo referente a tolerancias, pruebas, etc., véase la tabla **UNI 663.**

Las longitudes comerciales de los tubos de las clases A a D varían de 3,50 a 7 metros.

En la tabla 185 se ha indicado la representación unificada de los tubos de gas reforzados, de acero, con los números de las tablas UNI correspondientes, y las correspondientes designaciones convencionales, tubos roscados con manguitos de unión etcétera.

Los tubos lisos de acero sin soldadura, de tipo comercial, se denominan vulgarmente *tubos vaporizadores.*

En las tablas 186-188 se representan los principales tipos unificados de accesorios roscados para tubos de gas, con indicación de las tablas UNI correspondientes y con los símbolos internacionales de designación, si los hay.

Para tuberías extraligeras, empleadas especialmente en aeronáutica, se han unificado en las tablas **UNI 566 ÷ 602** los acoplamientos de enchufe, con cierre de ojiva. En las tablas 189-191 se representan los diferentes tipos unificados de bridas para tuberías. En la tabla 191 se representan esquemáticamente los principales tipos unificados de acoplamientos con cierre de ojiva y acoplamientos giratorios para tuberías.

La figura II, 556 representa un acoplamiento con cierre de ojiva, unificado.

Las bridas unificadas (**UNI 2234 ÷ 2244 y UNI 2287 ÷ 2304**) están calculadas según los procedimientos expuestos en la tabla **UNI 2230** (cálculo de los tubos de acero fundidos con bridas), **UNI 2231** (cálculo de comprobación para bridas fijas) y **UNI 2232** (cálculo de comprobación para bridas sueltas), tablas que nos limitamos a mencionar, por ser innecesaria su reproducción, tratándose de elementos unificados y que por lo mismo no se han de calcular.

Finalmente es conveniente que sepa el dibujante que, cuando no tenga especial importancia la exactitud de las medidas, se pueden emplear los tubos de acero sin soldadura, estirados en frío, *con precisión*, que presentan una superficie muy pulida (**UNI 2897 S**) y medidas con tolerancias normales (**UNI 2898 S**) o estrictas (**UNI 2899 S**).

Hay también tubos de precisión, especiales, modelados en frío con sección ovalada, elíptica, cuadrada, rectangular, lenticular, etcétera.

Como tubos especiales citaremos los tubos *pulidos interiormente* de acero al cromo-molibdeno (25 CD 4 UNI 3608) usados en las instalaciones de inyección de los motores diesel; los tubos capilares, que se venden en rollos, que se emplean para mediciones a distancia; los de aceros resistentes a la corrosión y al calor (X 15 CN 1808 UNI 4047; X 8 CN 1910 UNI 4047; X 12 C 17 UNI 4047; X 15 C 13 UNI 4047; etcétera).

No debe olvidarse que los tubos pueden ser el material que sirva de base para la fabricación de determinadas piezas mecánicas que, partiendo de los tubos y de materiales macizos, pueden obtenerse con menos trabajo y mayor rapidez y por lo tanto con ahorro de material y de tiempo, resultando en consecuencia a precio más bajo.

106. Tuberías de otros materiales

Se ha unificado poco sobre tubos de materiales no férricos. A continuación daremos la numeración de las principales tablas sobre estos tubos.

Tubos de cobre y de latón sin soldadura: **UNI 1455-1461.** Todos los tubos se designan mediante el diámetro exterior y el espesor. Las tablas contienen los datos de los tubos con diámetros entre 2 mm y 368 mm y espesores entre 0,5 mm y 12 mm. En la tabla 2545 están unificadas las calidades y las pruebas de dichos tubos. Una selección de las tablas 1455-1461, para aplicaciones navales se halla en las tablas de la 1470 a la 1473. Otra selección de las mismas tablas 1455-1461 y de la 1293 (tubos de acero) la ofrece la tabla **UNI 3338**, correspondiente a tubos sin soldadura para intercambiadores de calor.

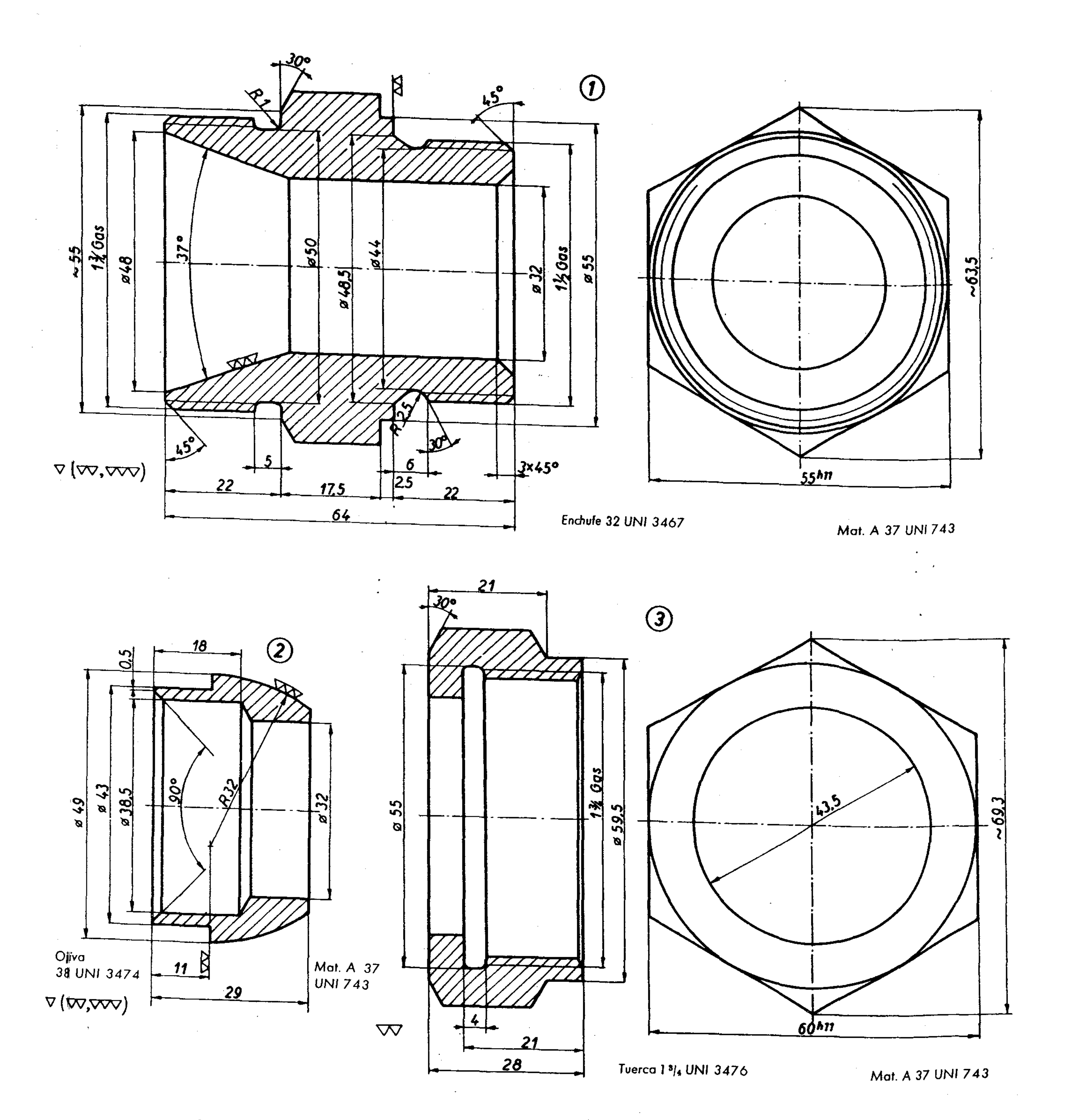


Fig. II, 557. *Detalles del empalme con cierre de ojiva representado en la* figura II, 556.

Tubos estirados de aluminio y sus aleaciones, redondos y poligonales. En la tabla 3391 se fijan las tolerancias de las medidas, del espesor, de la forma, etcétera.

Tubos de ebonita. Unificados en las tablas **UNI 1261** (tubos bastos), **1262** (tubos mecanizados) y **1263** (tubos rectificados).

Tubos de caucho. Se encuentran unificados en las tablas **UNI 2496** (tubos de caucho solo) y **2497** (tubos de caucho con tejido incorporado).

Cuadro de las formas unificadas de los tubos de acero soldados y no soldados

Representación esquemática	Denominación y designación	Tabla UNI y medidas
	Tubos corrientes de acero, soldados, roscados, con manguito de unión. Diámetro convencional gas 1 ½ Gas UNI 1286	UNI 1286 de 1/8 Gas a 2 Gas
	Ídem, reforzados ½ Gas UNI 1287	UNI 1287 de 1/8 Gas a 2 Gas
	Tubos de pozo ligeros de acero, sin soldadura, con manguito de unión. Diámetro convencional gas 2 Gas UNI 1288	UNI 1288 de 1 Gas a 4 Gas
	Ídem, pesados 2 Gas UNI 1289	UNI 1289 de 1 Gas a 4 Gas
	Tubos de acero sin soldadura y soldados; tubos gas comerciales, serie normal, roscados, con manguitos de unión. Diámetro convencional gas Tubo 1 ½ Gas UNI 3824	UNI 3824 de 1/8 Gas a 4 Gas
	Ídem, serie media Tubo 1 ½ Gas UNI 4148	UNI 4148 de 1/8 Gas a 6 Gas
	Ídem, serie pesada Tubo 1 ½ Gas UNI 4149	UNI 4149 de 1/8 Gas a 6 Gas

Sección	Denominación y designación	Tabla UNI y medidas	Sección	Denominación y designación	Tabla UNI y medidas
	Tubos de gas lisos de acero A 35 UNI 663, sin soldadura. Diámetro convencional gas × espesor 3 Gas × 4 UNI 1290	UNI 1290 de 1/8 gas × × 2 mm a 6 gas × 7 mm		Tubos de precisión de acero (únicamente de calidad) sin soldadura, estirados en frío con tolerancia normal. Tubo d × s/calidad acero UNI 2898	UNI 2898
	Idem A 45 UNI 663 3 Gas × 11 UNI 1291	UNI 1291-1292 a 6 gas × 30 mm de 1/8 gas × × 2 mm		Ídem, con tolerancias extremas. Tubo d × s/calidad acero UNI 2899	UNI 2899
	Tubos lisos de acero sin soldadura, comerciales y de calidad. d × s/calidad acero UNI 1293	UNI 1293-1306 de 6 mm × 1 mm a 622 mm × × 40 mm		Tubos de cobre o de latón, sin soldadura. d × s UNI 1455	UNI 1451-1461 de 2 mm × × 0,5 mm a 368 mm × × 12 mm

Uniones roscadas para tubos gas. Cuadro de los tipos unificados

Uniones	Representación	Denominación	Medidas unificadas	Tablas UNI correspondientes	Símbolo internacional
Manguitos		Manguitos (de fundición maleable)	de $\frac{1}{8}$ a 4 Gas	UNI 348	M 2
		Manguitos (de acero)	» $\frac{1}{8}$ » 6 »	UNI 349	—
		Manguitos de oliva cortos (acero) (apropiados para tubos de pozo)	» 1 » 4 »	UNI 350	—
		Manguitos de oliva largos (acero) (apropiados para tubos de pozo)	» 1 » 4 »	UNI 351	—
		Manguitos macho y hembra (de fundición maleable)	» $\frac{1}{4}$ » 3 »	UNI 352	M 4
		Manguitos de reducción concéntricos (de fundición maleable)	» $\frac{1}{4}$ » 4 »	UNI 353	M 2
		Manguitos de reducción macho y hembra (de fundición maleable)	» $\frac{1}{4}$ » 3 »	UNI 354	M 4
		Manguitos de reducción excéntricos (de fundición maleable)	» $\frac{1}{4}$ » 4 »	UNI 355	M 3
Manguitos interiores		Manguitos interiores (de acero)	» $\frac{1}{8}$ a 6 »	UNI 356	—
		Manguitos interiores dobles (de fundición maleable)	» $\frac{1}{8}$ » 4 »	UNI 357	N 8
		Manguitos interiores dobles de alargamiento (de acero)	» $\frac{1}{8}$ » 6 »	UNI 358	—
		Manguitos interiores dobles de alargamiento para manguito exterior móvil (de acero)	» $\frac{1}{8}$ » 6 »	UNI 359	—
		Manguitos interiores dobles de reducción con tuerca (de fundición maleable)	» $\frac{1}{4}$ » 4 »	UNI 360	N 8
		Manguitos interiores de reducción macho y hembra (de fundición maleable)	» $\frac{1}{4}$ » 4 »	UNI 361	N 4
Tapas, tapones, tuercas		Tapones de tuerca (de fundición maleable)	» $\frac{1}{8}$ » 4 »	UNI 362	T 1
		Tapones redondos (de fundición maleable)	» $\frac{1}{8}$ » 4 »	UNI 363	T 2
		Tapas con tuerca cuadrada (de fundición maleable)	» $\frac{1}{8}$ » 4 »	UNI 364	T 9
		Tuercas para boquillas (de fundición maleable)	» $\frac{1}{2}$ » $5\frac{1}{2}$ »	UNI 365	P 1
		Contratuercas	» $\frac{1}{8}$ » 4 »	UNI 366	P 4
		Contratuercas con ranura	» $\frac{1}{8}$ » 4 »	UNI 367	P 3

Tabla 187

Uniones roscadas para tubos gas. Cuadro de los tipos unificados

Uniones	Representación	Denominación	Medidas unificadas	Tablas UNI correspondientes	Símbolo internacional
Codos		Codos de 45° (de fundición maleable)	de $\frac{1}{8}$ a 4 Gas	UNI 368	A 1/45°
		Codos de 45° macho y hembra (de fundición maleable)	» $\frac{1}{8}$ » 4 »	UNI 369	A 4/45°
		Codos de 90° (de fundición maleable)	» $\frac{1}{8}$ » 4 »	UNI 370	A 1
		Codos de 90° macho y hembra (de fundición maleable)	» $\frac{1}{8}$ » 4 »	UNI 371	A 4
		Codos de 90° machos (de fundición maleable)	» $\frac{1}{4}$ » 4 »	UNI 372	A 8
		Codos de 90° de reducción (de fundición maleable)	» $\frac{1}{4}\times\frac{1}{8}$ » $4\times3\frac{1}{2}$ »	UNI 373	A 1
		Codos con joroba (de fundición maleable)	» $\frac{3}{8}$ » 2 »	UNI 374	L 2
Curvas		Curvas de 45° (de fundición maleable)	» $\frac{1}{8}$ » 4 »	UNI 375	G 1/45°
		Curvas de 45° macho y hembra (de fundición maleable)	» $\frac{1}{8}$ » 4 »	UNI 376	G 4/45°
		Curvas de 45° machos (de fundición maleable)	» $\frac{1}{8}$ » 4 »	UNI 377	G 8/45°
		Curvas de 90° (de fundición maleable)	» $\frac{1}{8}$ » 4 »	UNI 378	G 1
		Curvas de 90° macho y hembra (de fundición maleable)	» $\frac{1}{8}$ » 4 »	UNI 379	G 4
		Curvas de 90° machos (de fundición maleable)	» $\frac{1}{8}$ » 4 »	UNI 380	G 8
		Curvas de 90° machos (de acero)	» $\frac{1}{8}$ » 6 »	UNI 381	—
		Curvas dobles (de fundición maleable)	» $\frac{1}{4}$ » 4 »	UNI 382	K b 1
		Curvas dobles con derivación central (de fundición maleable)	» $\frac{3}{8}$ » 4 »	UNI 383	K b 2
Tes		Tes de 90° (de fundición maleable)	» $\frac{1}{8}$ » 4 »	UNI 384	B 1
		Tes de 90° de reducción (de fundición maleable)	» $\frac{1}{8}$ » 4 »	UNI 385-388	B 1
		Tes de 45° (de fundición maleable)	» $\frac{1}{4}$ » 4 »	UNI 389	B 1/45°
		Tes curvadas de 90° con una curva (de fundición maleable)	» $\frac{3}{8}$ » 4 »	UNI 390	E 1
		Tes curvadas de 90° con dos curvas (de fundición maleable)	» $\frac{3}{8}$ » 4 »	UNI 391	E 2

Tabla 188

Uniones roscadas para tubos gas. Cuadro de los tipos unificados

Uniones	Representación	Denominación	Medidas unificadas		Símbolo internacional
Cruces		Cruces a 90° (de fundición maleable)	de $\frac{1}{8}$ a 4 Gas	UNI 392	C 1
		Cruces a 90° de reducción (de fundición maleable)	» $\frac{1}{8}$ » 4 »	UNI 393-399	C 1
		Cruces a 45° (de fundición maleable)	» $\frac{1}{4}$ » 4 »	UNI 400	C 1/45°
		Cruces a 90° curvadas (de fundición maleable)	» 1 » 4 »	UNI 401	F 1
Distribuciones		Distribución en Y de tres vías (de fundición maleable)	» $\frac{1}{4}$ » 4 »	UNI 402	Z b 1
		Distribución en codo a 90° de tres vías (de fundición maleable)	» $\frac{1}{4}$ » 4 »	UNI 403	Z a 1
		Distribución en T a 90° de cuatro vías (de fundición maleable)	» $\frac{1}{4}$ » 4 »	UNI 404	Z a 2
Manguitos, uniones con manguito		Manguitos de asiento plano (de fundición maleable)	» $\frac{1}{8}$ » 4 »	UNI 405	U 1
		Manguitos de asiento cónico (de fundición maleable)	» $\frac{1}{8}$ » 4 »	UNI 406	U 11
		Manguitos de asiento plano macho y hembra (de fundición maleable)	» $\frac{1}{8}$ » 4 »	UNI 407	U 2
		Manguitos de asiento cónico macho y hembra (de fundición maleable)	» $\frac{1}{8}$ » 4 »	UNI 408	U 12
		Codos a 90° con manguito de asiento plano (de fundición maleable)	» $\frac{1}{4}$ » 4 »	UNI 409	UA 1
		Codos a 90° con manguito de asiento cónico (de fundición maleable)	» $\frac{1}{4}$ » 4 »	UNI 410	UA 11
		Codos a 90° con manguito macho de asiento plano (de fundición maleable)	» $\frac{1}{4}$ » 4 »	UNI 411	UA 2
		Codos a 90° con manguito macho de asiento cónico (de fundición maleable)	» $\frac{1}{4}$ » 4 »	UNI 412	UA 12

Bridas ordinarias para tuberías. Lista de tipos unificados

Denominación			Representación	Presión nominal PN	Diámetros	Correspondencia tablas UNI
Bridas fundidas	de fundición			2,5	DN 20 a 600	UNI 2235
					DN 650 a 2000	UNI 2234
				6	DN 20 a 1200	UNI 2235
				10	DN 20 a 70	UNI 2237
					DN 80 a 1200	UNI 2236
				16	DN 20 a 600	UNI 2237
				25	DN 20 a 500	UNI 2238
				40	DN 20 a 400	UNI 2239
	de acero			16	DN 10 a 2600	UNI 2240
				25	DN 10 a 40	UNI 2242
					DN 50 a 2000	UNI 2241
				40	DN 10 a 1600	UNI 2242
				64	DN 10 a 1200	UNI 2243
				100	DN 10 a 700	UNI 2244
Bridas roscadas	planas	ovaladas		2,5	3/8 a 4 Gas	UNI 2245
				6	3/8 a 2 Gas	
		circulares		2,5 y 6	3/8 a 6 Gas	UNI 2246
				10 y 16	3/8 a 6 Gas	UNI 2247
				25 y 40	3/8 a 4 Gas	UNI 2248
		circulares reducidas		1	3/8 a 6 Gas	UNI 2249
				2,5	3/8 a 6 Gas	UNI 2250
		ovaladas		2,5	3/8 a 4 Gas	UNI 2251
				6	3/8 a 2 Gas	
				10	3/8 a 1 1/2 Gas	UNI 2252
				16	3/8 a 1 Gas	
		circulares		2,5 y 6	3/8 a 6 Gas	UNI 2253
				10 y 16	3/8 a 6 Gas	UNI 2254
				25 y 40	3/8 a 6 Gas	UNI 2255
				64	3/8 a 6 Gas	UNI 2256
				100	3/8 a 6 Gas	UNI 2257
Bridas para mandrilar	planas			2,5 y 6	DN 10 a 150	UNI 2258
	con collar	ovaladas		2,5	DN 10 a 100	UNI 2259
				6	DN 10 a 50	
				10	DN 10 a 40	UNI 2260
				16	DN 10 a 25	
		circulares		2,5 y 6	DN 10 a 400	UNI 2261
				10	DN 10 a 150	UNI 2263
					DN 175 a 400	UNI 2262
				16	DN 10 a 400	UNI 2263
				25	DN 10 a 150	UNI 226[illegible]
					DN 175 a 400	UNI 2264
				40	DN 10 a 300	UNI 2265
				64	DN 10 a 90	UNI 2266
				100	DN 10 a 40	UNI 2267
Bridas de collar alto				64	DN 100 a 400	UNI 2268
				100	DN 50 a 400	UNI 2269

Tabla 190

Denominación			Representación	Presión nominal PN	Diámetros	Correspondencia tablas UNI
Bridas para remachar				2,5 e 6	DN 450 a 600	UNI 2270
				10	DN 450 a 600	UNI 2271
				16	DN 450 a 600	UNI 2272
				25	DN 450 a 500	UNI 2273
				40	DN 325 a 550	UNI 2274
Bridas para soldar	a solape	ovaladas		2,5	DN 10 a 100	UNI 2275
				6	DN 10 a 50	
		circulares		2,5 e 6	DN 10 a 1000	UNI 2276
				10	DN 10 a 175	UNI 2278
					DN 200 a 600	UNI 2277
				16	DN 10 a 400	UNI 2278
	a tope			2,5	DN 10 a 1000	UNI 2280
					DN 1100 a 4000	UNI 2279
				6	DN 10 a 3600	UNI 2280
				10	DN 10 a 175	UNI 2282
					DN 200 a 3000	UNI 2281
				16	DN 10 a 2200	UNI 2282
				25	DN 10 a 150	UNI 2284
					DN 175 a 1000	UNI 2283
				40	DN 10 a 550	UNI 2284
				64	DN 10 a 400	UNI 2285
				100	DN 10 a 250	UNI 2286
Bridas libres	con collar de apoyo para soldar a tope			1	DN 10 a 275	UNI 2289
					DN 300 a 375	UNI 2288
					DN 400 a 2000	UNI 2287
				2,5	DN 10 a 275	UNI 2289
					DN 300 a 2000	UNI 2288
				6	DN 10 a 1200	UNI 2289
				10	DN 10 a 175	UNI 2291
					DN 200 a 1200	UNI 2290
				16	DN 10 a 500	UNI 2291
				25	DN 10 a 150	UNI 2293
					DN 175 a 500	UNI 2292
				40	DN 10 a 400	UNI 2293
	con anillo de apoyo para soldar a solape			1	DN 25 a 275	UNI 2296
					DN 300 a 375	UNI 2295
					DN 400 a 500	UNI 2294
				2,5	DN 25 a 275	UNI 2296
					DN 300 a 500	UNI 2295
				6	DN 25 a 500	UNI 2296
				10	DN 25 a 175	UNI 2298
					DN 200 a 500	UNI 2297
				16	DN 25 a 500	UNI 2298
				25	DN 25 a 150	UNI 2300
					DN 175 a 500	UNI 2299
				40	DN 25 a 400	UNI 2300
	para tubos con borde de apoyo			1	DN 50 a 275	UNI 2303
					DN 300 a 375	UNI 2302
					DN 400 a 2000	UNI 2301
				2,5	DN 50 a 275	UNI 2303
					DN 300 a 2000	UNI 2302
				6	DN 50 a 1000	UNI 2303
				10	DN 50 a 800	UNI 2304

Uniones con cierre de ojiva y orientables para tuberías		
Uniones con extremos roscados UNI 3459	Uniones con extremos para soldar UNI 3460	Uniones intermedias UNI 3461
Uniones interiores UNI 3462	Pasaparedes desmontables UNI 3463	Pasaparedes para soldar UNI 3464
Derivaciones en T UNI 3465	Uniones orientables sencillas UNI 3478	Uniones orientables dobles UNI 3479

107. Generalidades sobre grifos, válvulas y compuertas - Juntas de cierre

En las tuberías, así como en algunas máquinas en las que tiene lugar el movimiento de un fluido, es indispensable un órgano capaz de regular o interrumpir la corriente del líquido o del gas. Para ello se puede disponer de:

a) las **válvulas**, constituidas por un asiento fijo y una parte móvil, que, con la válvula cerrada, corta la corriente; cuando se levanta la parte móvil, se abre paso al líquido.

b) las **compuertas**, constituidas por una caja que contiene un diafragma móvil, cuya maniobra se efectúa desde fuera por un mecanismo de tornillo.

c) los **grifos**. cuya parte esencial es una *llave* que girando o deslizándose en su alojamiento, abre o cierra una ranura pasante del cono de la misma, dando paso a una cantidad variable de fluido.

Otro accesorio de enorme importancia en las tuberías es el constituido por las *juntas de cierre.* Tanto si se trata de acoplamientos como de pasos de árboles deslizantes o giratorios, siempre que en las tuberías se contiene un fluido a presión, es evidente que, si no se toman las convenientes precauciones, habrá fugas del fluido.

Pasemos revista rápidamente a todo lo que de los temas apuntados puede tener algún interés para el dibujante.

108. Válvulas y compuertas

Es evidente que, dada la inmensa variedad de fluidos cuya circulación convenga regular y la gran variedad de características térmicas y químicas que presentan y dada la diversidad de funciones que las válvulas tengan que cumplir, habrá una gran variedad de tipos de válvulas.

Únicamente se han unificado las válvulas para aplicaciones navales.

Para una selección de los tipos de empleo más general, se pueden clasificar las válvulas, desde el punto de vista de su constitución y de su funcionamiento en la forma siguiente:

a) *De disco, con asiento plano* (fig. II, 558). Verifican un cierre poco preciso.

b) *De asiento cónico* (fig. II, 559), con un cierre más perfecto. En estos dos tipos de válvulas la elevación de la parte móvil queda limitada al 25-33 % del diámetro de la válvula, cuando la velocidad del fluido en la tubería no llega a 1 metro por segundo; tiene menor valor, que puede reducirse a 1/10 del diámetro, cuando la velocidad del fluido es mayor.

c) *De asiento esférico* (fig. II, 560): la bola es de bronce, con diámetro alrededor de 1,6 veces el diámetro del agujero.

d) *De asiento múltiple*. La figura II, 561 representa en esquema una válvula de doble asiento, empleada en la distribución de las máquinas de vapor.

e) *De punzón*. El cierre lo efectúa directamente el vástago, que termina en una punta cónica, la cual asegura el cierre al apretarla contra su respectivo asiento en el cuerpo de la válvula. Se emplean estas válvulas para purgar de aire las bombas (válvulas atmosféricas). Tipos semejantes se emplean para enlazar el manómetro con la caldera de vapor. La figura II, 562 representa una válvula atmosférica, según el proyecto **UNI 0433,** todavía no incorporado a la unificación: la figura II, 563 representa los detalles de la misma.

f) *De mariposa*, que funciona como puede verse en el esquema de la figura II, 564, y que se emplea para graduar la cantidad de líquido y de gas, pero no para asegurar el cierre.

g) *De seguridad, por contrapeso* (fig. II, 565) o *por muelle* (fig. II, 566), que efectúan la descarga del vapor o gas contenido en un recipiente, cuando la presión alcanza determinado valor (por ejemplo, en las máquinas de vapor).

h) *De admisión y de escape* en los motores de explosión de cuatro tiempos (figs. II, 567-568).

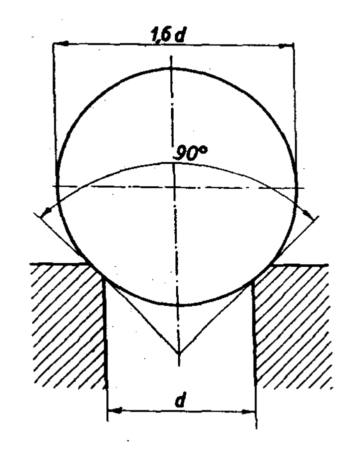


Fig. II, 560. *Válvula de globo (esquema).*

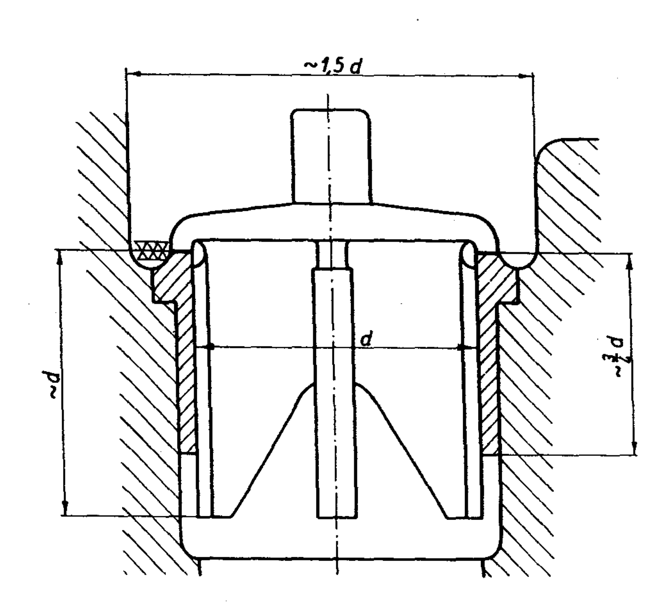


Fig. II, 558. *Válvula de disco de asiento plano.*

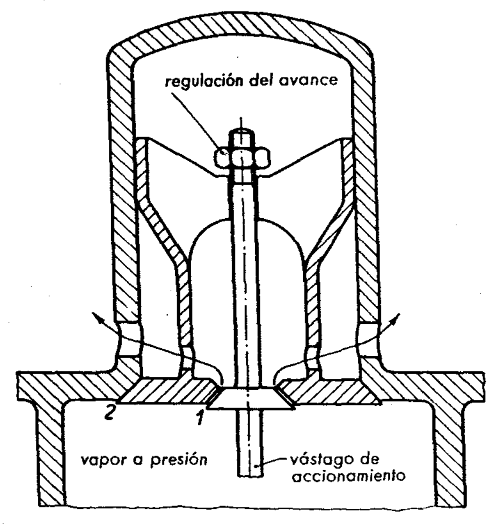


Fig. II, 561. *Válvula de asiento múltiple.*

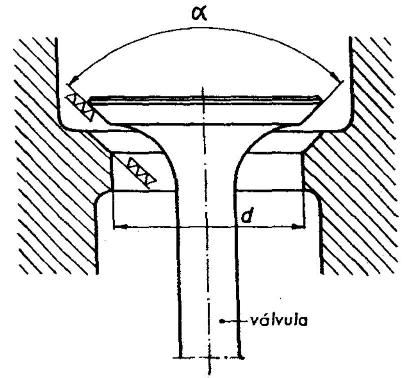


Fig. II, 559. *Válvula de asiento cónico.*

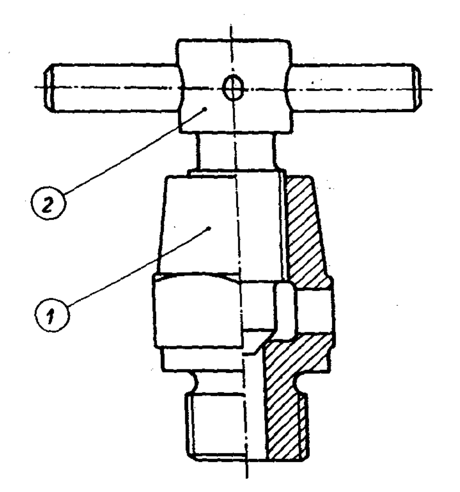


Fig. II, 562. *Válvula de punzón (opúsculo UNI 0433). La combinación de materiales* A *está indicada para aceite y carburantes; la combinación* B *para agua dulce y salada.*

Nº	Pieza	Material para la combinación A	Material para la combinación B
1	Cuerpo	A 37 UNI 743	OT 60 UNI 2012
2	Vástago	A 37 UNI 743	OT 60 UNI 2012

Fig. II, 563. *Detalles de la válvula de punzón* (fig. II, 562).

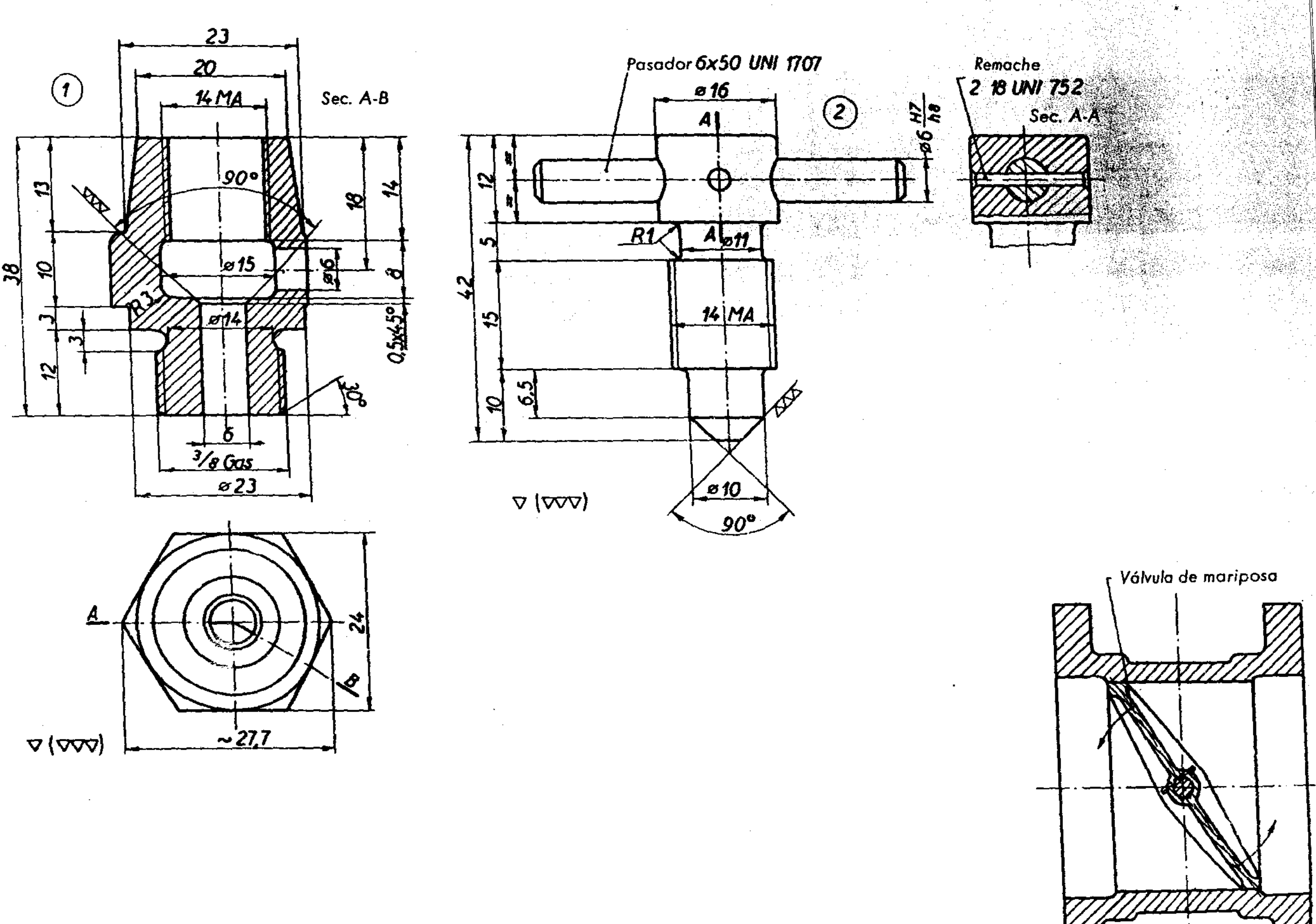
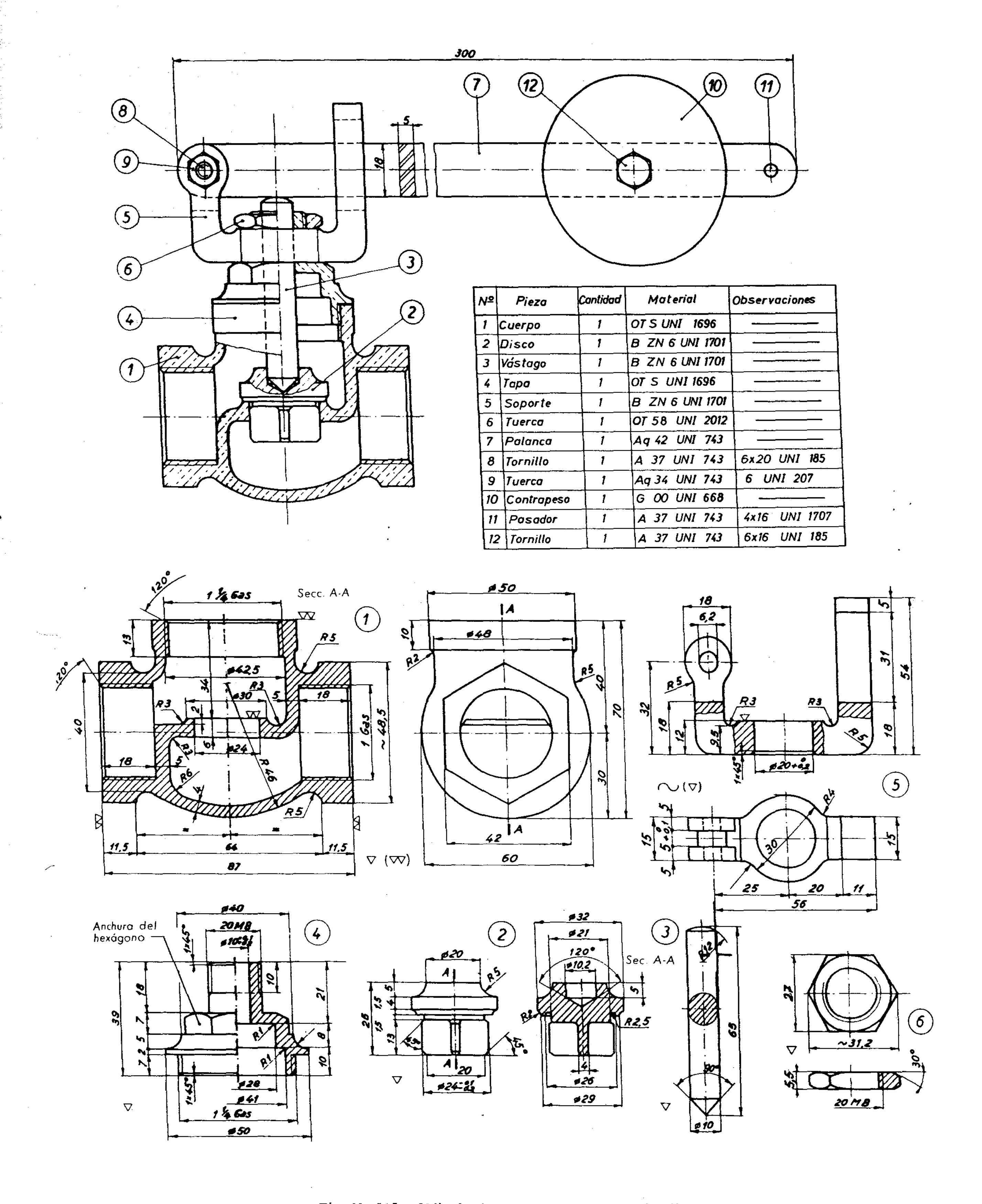


Fig. II, 564. *Válvula de mariposa (esquema).*



Nº	Pieza	Cantidad	Material	Observaciones
1	Cuerpo	1	OT S UNI 1696	————
2	Disco	1	B ZN 6 UNI 1701	————
3	Vástago	1	B ZN 6 UNI 1701	————
4	Tapa	1	OT S UNI 1696	————
5	Soporte	1	B ZN 6 UNI 1701	————
6	Tuerca	1	OT 58 UNI 2012	————
7	Palanca	1	Aq 42 UNI 743	————
8	Tornillo	1	A 37 UNI 743	6x20 UNI 185
9	Tuerca	1	Aq 34 UNI 743	6 UNI 207
10	Contrapeso	1	G 00 UNI 668	————
11	Pasador	1	A 37 UNI 743	4x16 UNI 1707
12	Tornillo	1	A 37 UNI 743	6x16 UNI 185

Fig. II, 565. *Válvula de contrapeso con sus detalles.*

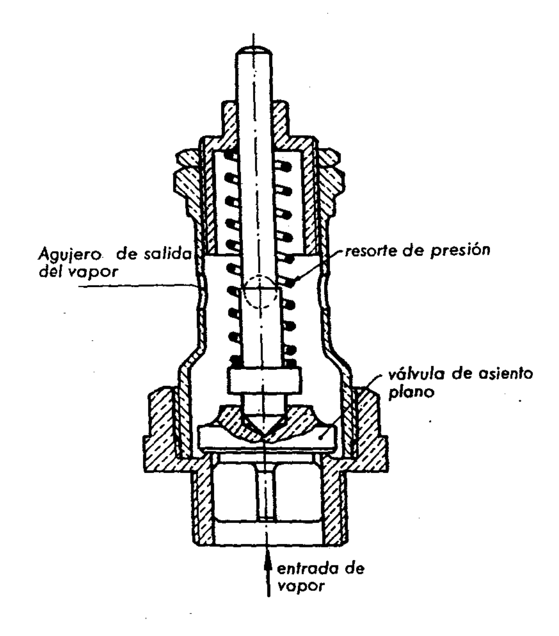


Fig. II, 566. *Válvula de resorte (esquema).*

Las válvulas de fundiciones unificadas se han representado esquemáticamente en la tabla 192, en la que se puede ver que hay una *serie ligera* (**UNI 2442**) y una *serie pesada* (**UNI 3408**) y que dichas válvulas pueden ser *de paso recto, de paso en ángulo y sin retroceso* (llamadas también *válvulas de retención*). En la misma tabla se indican, para cada tipo, los números de las tablas de unificación en las que se hallan las medidas de las diferentes partes. Todas estas válvulas llevan bridas de unión.

Hay además toda una serie de tablas **UNI** (de la **2855** a la **2875**) que unifican las *válvulas y los enlaces de unión para tubos flexibles;* y finalmente están unificadas las *válvulas con extremos roscados,* cuyos tipos fundamentales se pueden ver en la tabla 192 de este texto.

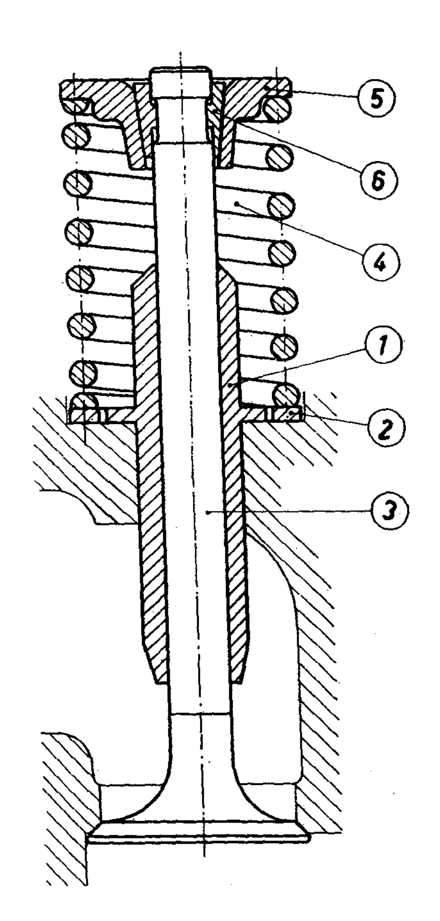
En las figuras **II**, 569-571 se han reproducido los dibujos de conjunto de una válvula de paso recto, una de paso en ángulo y una de paso recto con extremos roscados.

En la figura **II**, 572 se reproduce el dibujo de una válvula con muelle espiral y los detalles de la misma; en la figura **II**, 573 se ha indicado la estructura esquemática de una válvula con muelle de discos.

Las válvulas de compuerta para tuberías navales están unificadas y en la tabla **UNI 2777** hay una lista de los tipos unificados de la serie ligera.

Estas válvulas de compuerta se clasifican en *válvulas de acero* (**UNI 2778**); *de fundición maleable* (**UNI 2779**); *de bronce* (**UNI 2780**). A pesar de estas denominaciones, todas las válvulas de compuerta están construidas con varias combinaciones de materiales, indicadas en la tabla **2777**, que hace referencia a los materiales escogidos detalladamente para las diferentes partes en la **UNI 2276**. Volveremos sobre este asunto en el epígrafe n.° 110.

En la tabla **UNI 3006** está unificada la serie pesada de válvulas de compuerta de fundiciones: se dan la forma y las proporciones de las válvulas de hierro



Nº	Pieza	Material
1	Guía de la válvula	A 37 UNI 743
2	Disco inferior para el resorte	A 37 UNI 743
3	Válvula	X 43 CS 8 UNI 3992
4	Resorte	C 72 UNI 3585
5	Platillo superior para el resorte	A 37 UNI 743
6	Cono para retención del platillo	A 37 UNI 743

Fig. II, 567. *Válvula de admisión de un motor de explosión.*

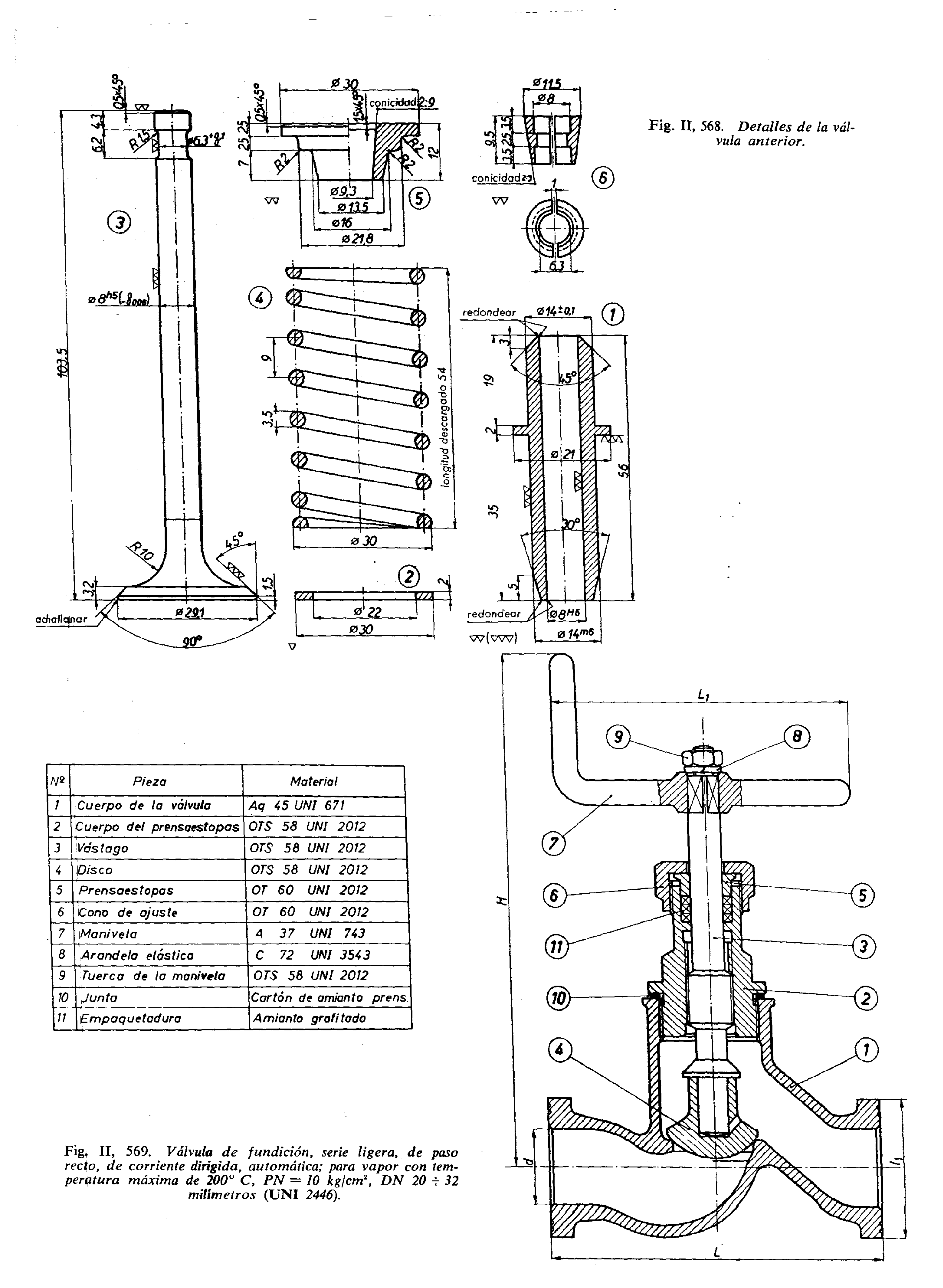


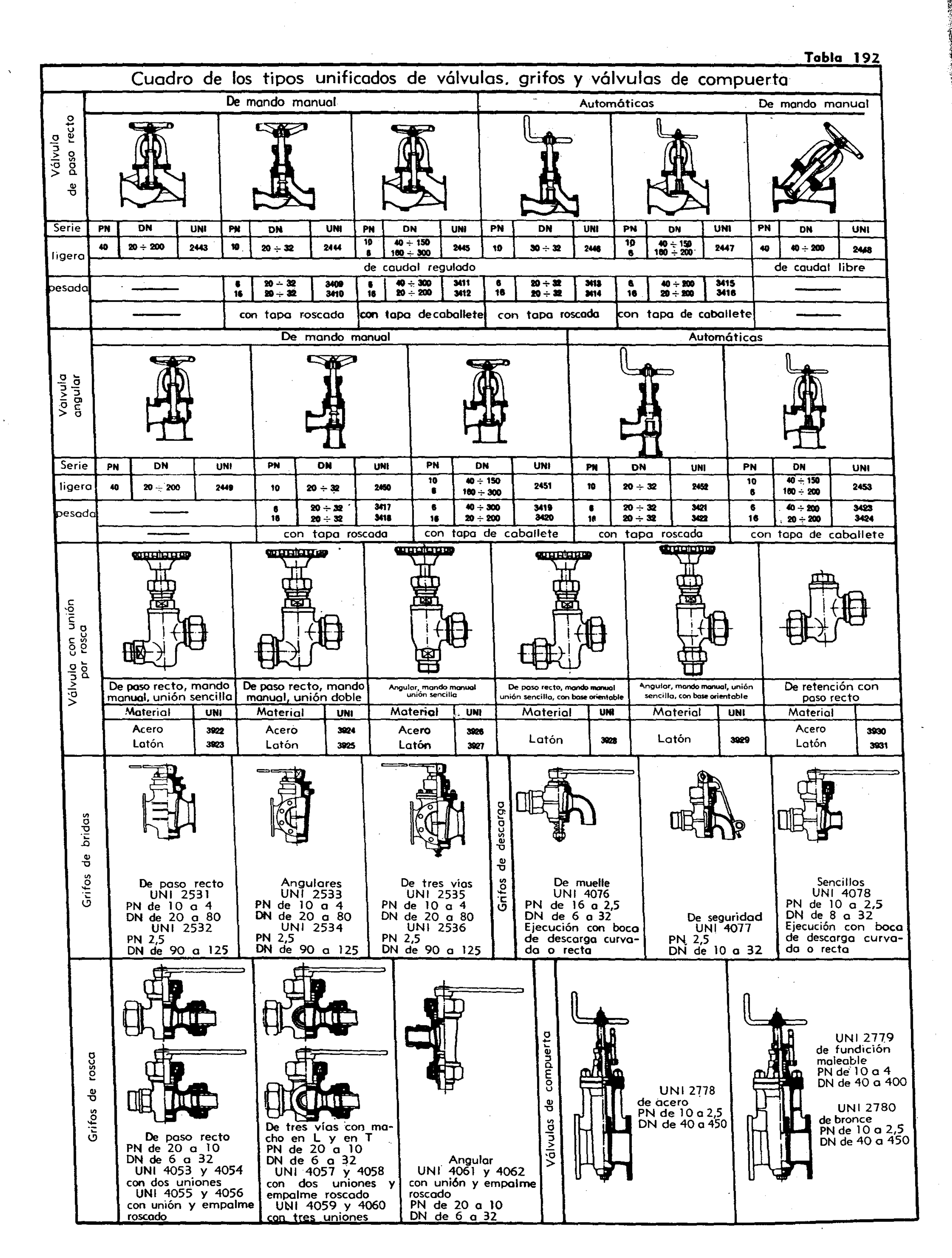
Fig. II, 568. *Detalles de la válvula anterior.*

Nº	Pieza	Material
1	Cuerpo de la válvula	Aq 45 UNI 671
2	Cuerpo del prensaestopas	OTS 58 UNI 2012
3	Vástago	OTS 58 UNI 2012
4	Disco	OTS 58 UNI 2012
5	Prensaestopas	OT 60 UNI 2012
6	Cono de ajuste	OT 60 UNI 2012
7	Manivela	A 37 UNI 743
8	Arandela elástica	C 72 UNI 3543
9	Tuerca de la manivela	OTS 58 UNI 2012
10	Junta	Cartón de amianto prens.
11	Empaquetadura	Amianto grafitado

Fig. II, 569. *Válvula de fundición, serie ligera, de paso recto, de corriente dirigida, automática; para vapor con temperatura máxima de 200° C, PN = 10 kg/cm², DN 20 ÷ 32 milímetros* (**UNI** *2446*).

Tabla 192

Cuadro de los tipos unificados de válvulas, grifos y válvulas de compuerta



Válvula de paso recto

	De mando manual									Automáticas						De mando manual		
Serie	PN	DN	UNI	PN	DN	UNI	PN	DN	UNI	PN	DN	UNI	PN	DN	UNI	PN	DN	UNI
ligera	40	20 ÷ 200	2443	10	20 ÷ 32	2444	10 6	40 ÷ 150 160 ÷ 300	2445	10	30 ÷ 32	2446	10 6	40 ÷ 150 160 ÷ 200	2447	40	40 ÷ 200	2448
	de caudal regulado															de caudal libre		
pesada	——			6 16	20 ÷ 32 20 ÷ 32	3409 3410	6 16	40 ÷ 300 20 ÷ 200	3411 3412	6 16	20 ÷ 32 20 ÷ 32	3413 3414	6 16	40 ÷ 200 20 ÷ 200	3415 3416	——		
	——			con tapa roscada			con tapa de caballete			con tapa roscada			con tapa de caballete			——		

Válvula angular

	De mando manual									Automáticas					
Serie	PN	DN	UNI	PN	DN	UNI	PN	DN	UNI	PN	DN	UNI	PN	DN	UNI
ligera	40	20 ÷ 200	2449	10	20 ÷ 32	2450	10 6	40 ÷ 150 160 ÷ 300	2451	10	20 ÷ 32	2452	10 6	40 ÷ 150 160 ÷ 200	2453
pesada	——			6 16	20 ÷ 32 20 ÷ 32	3417 3418	6 16	40 ÷ 300 20 ÷ 200	3419 3420	6 16	20 ÷ 32 20 ÷ 32	3421 3422	6 16	40 ÷ 200 20 ÷ 200	3423 3424
	——			con tapa roscada			con tapa de caballete			con tapa roscada			con tapa de caballete		

Válvula con unión por rosca

De paso recto, mando manual, unión sencilla		De paso recto, mando manual, unión doble		Angular, mando manual unión sencilla		De paso recto, mando manual unión sencilla, con base orientable		Angular, mando manual, unión sencilla, con base orientable		De retención con paso recto	
Material	UNI	Material	UNI	Material	UNI	Material	UNI	Material	UNI	Material	
Acero Latón	3922 3923	Acero Latón	3924 3925	Acero Latón	3926 3927	Latón	3928	Latón	3929	Acero Latón	3930 3931

Grifos de bridas

De paso recto
UNI 2531
PN de 10 a 4
DN de 20 a 80
UNI 2532
PN 2,5
DN de 90 a 125

Angulares
UNI 2533
PN de 10 a 4
DN de 20 a 80
UNI 2534
PN 2,5
DN de 90 a 125

De tres vías
UNI 2535
PN de 10 a 4
DN de 20 a 80
UNI 2536
PN 2,5
DN de 90 a 125

Grifos de descarga

De muelle
UNI 4076
PN de 16 a 2,5
DN de 6 a 32
Ejecución con boca de descarga curvada o recta

De seguridad
UNI 4077
PN 2,5
DN de 10 a 32

Sencillos
UNI 4078
PN de 10 a 2,5
DN de 8 a 32
Ejecución con boca de descarga curvada o recta

Grifos de rosca

De paso recto
PN de 20 a 10
DN de 6 a 32
UNI 4053 y 4054
con dos uniones
UNI 4055 y 4056
con unión y empalme roscado

De tres vías con macho en L y en T
PN de 20 a 10
DN de 6 a 32
UNI 4057 y 4058
con dos uniones y empalme roscado
UNI 4059 y 4060
con tres uniones

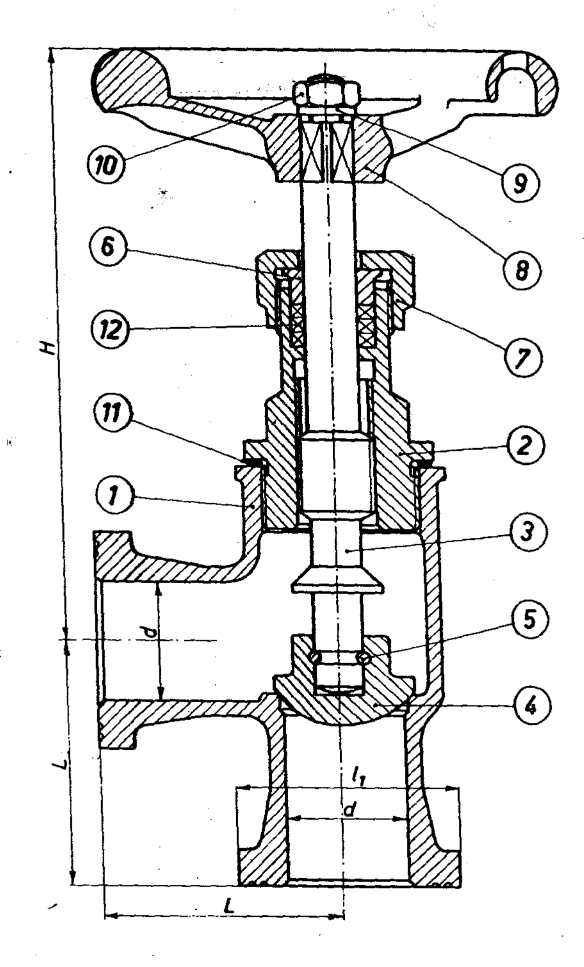
Angular
UNI 4061 y 4062
con unión y empalme roscado
PN de 20 a 10
DN de 6 a 32

Válvulas de compuerta

UNI 2778
de acero
PN de 10 a 2,5
DN de 40 a 450

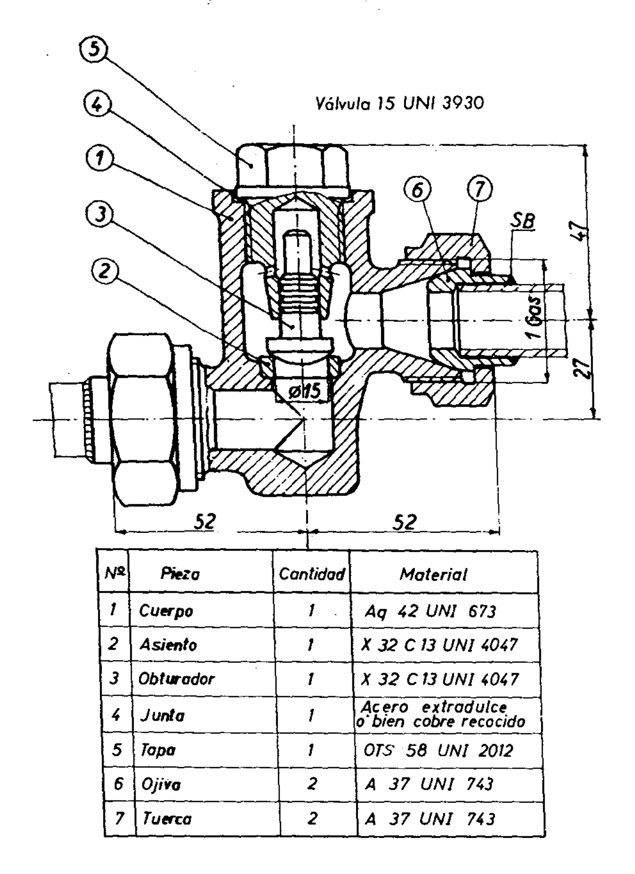
UNI 2779
de fundición maleable
PN de 10 a 4
DN de 40 a 400

UNI 2780
de bronce
PN de 10 a 2,5
DN de 40 a 450



Nº	Pieza	Material
1	Cuerpo de la válvula	Aq 45 UNI 671
2	Cuerpo del prensaestopas	Aq 42 UNI 743
3	Vástago	Aq 50 UNI 743
4	Disco	Aq 50 UNI 743
5	Anillo del disco	A 37 UNI 743
6	Prensaestopas	A 37 UNI 673
7	Cono de ajuste	A 37 UNI 743
8	Volante	GM 35 UNI 3779
9	Arandela elástica	C 72 UNI 3545
10	Tuerca del volante	A 37 UNI 743
11	Junta	Cartón de amianto prens
12	Empaquetadura	Amianto grafitado

Fig. II, 570. *Válvula de fundición para tuberías navales, serie ligera, para carburante, en ángulo, PN = 10 kg/cm², DN 32 mm* (**UNI** *2450*).



Nº	Pieza	Cantidad	Material
1	Cuerpo	1	Aq 42 UNI 673
2	Asiento	1	X 32 C 13 UNI 4047
3	Obturador	1	X 32 C 13 UNI 4047
4	Junta	1	Acero extradulce o bien cobre recocido
5	Tapa	1	OTS 58 UNI 2012
6	Ojiva	2	A 37 UNI 743
7	Tuerca	2	A 37 UNI 743

Fig. II, 571. *Válvula de retención, de paso recto, con empalme roscado DN 6 ÷ 15 mm, PN 40 kg/cm²* (**UNI** *3930*).

fundido, de dos tipos, para diámetros nominales hasta 80 y hasta 100 mm respectivamente. En las tablas siguientes de la 3007 a la 3015 están unificados los detalles de dichas válvulas de compuerta, mientras que en la tabla 3005 se indican los materiales unificados que se han de emplear para la fabricación de las diversas partes. En la figura II, 574 se ha dibujado una válvula de compuerta unificada. En la figura II, 575 se representa una válvula de compuerta no unificada.

109. Grifos

En la tabla 192 se halla también la serie de grifos unificados siempre para tuberías navales.

Los grifos se dividen en grifos *con bridas*, grifos *roscados* y grifos *de descarga*.

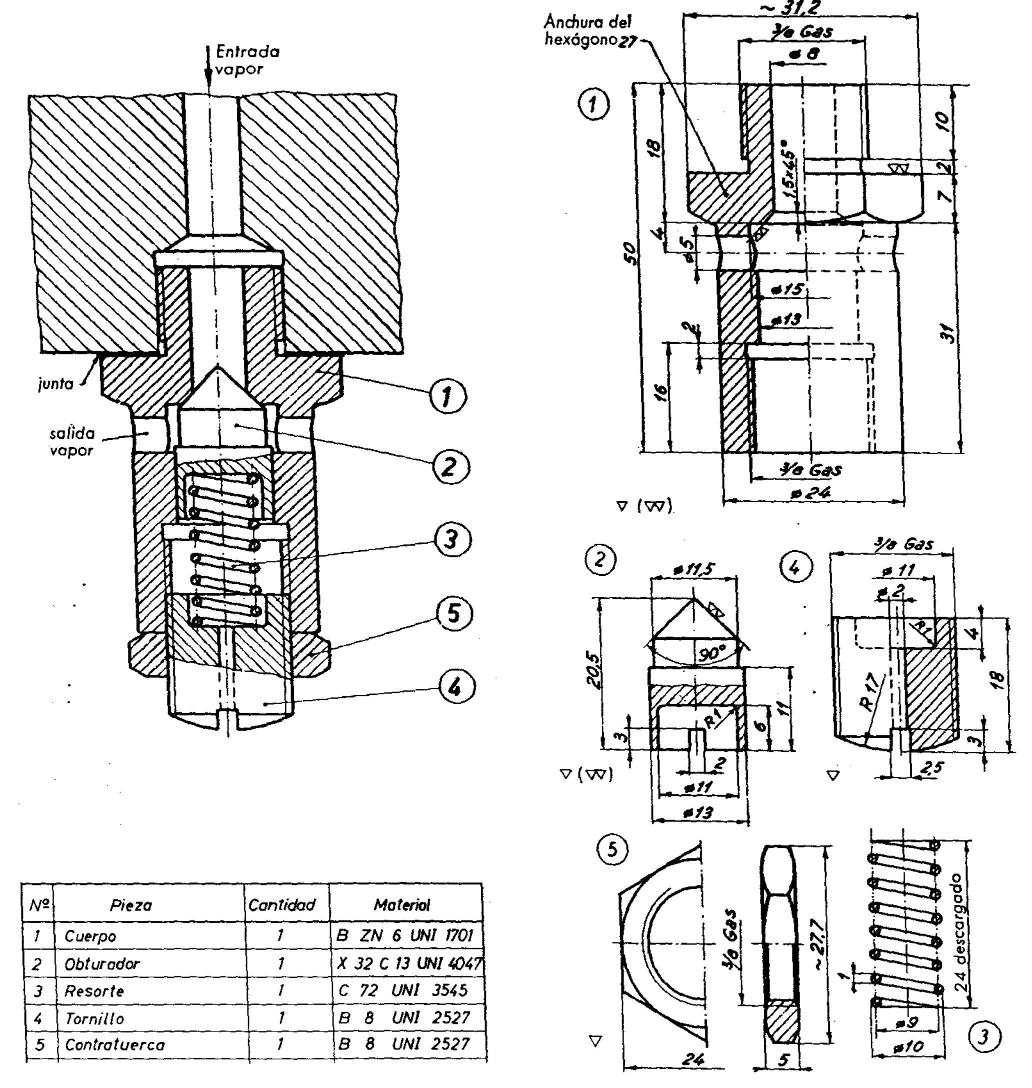
Los grifos con brida, serie ligera **(UNI 2530)** y con rosca **(UNI 4052)** se dividen en grifos:

de paso recto;
en ángulo;
de tres vías.

En la tabla resumen se indican las diferentes subdivisiones y los números de las tablas de unificación.

En la tabla **4075** están indicados los grifos unificados de descarga, que se dividen en grifos:

de muelle;
de seguridad;
de descarga simple.



Nº	Pieza	Cantidad	Material
1	Cuerpo	1	B ZN 6 UNI 1701
2	Obturador	1	X 32 C 13 UNI 4047
3	Resorte	1	C 72 UNI 3545
4	Tornillo	1	B 8 UNI 2527
5	Contratuerca	1	B 8 UNI 2527

Fig. II, 572. *Válvula de resorte helicoidal, dibujo de conjunto y detalles.*

El primero y el último tipo pueden tener la boca de descarga *recta* o *curvada:* los grifos de seguridad tienen siempre la boca curvada.

También se indican para estos tipos en la tabla resumen los números de las recientes unificaciones.

En la figura II, 576 se han dibujado tres grifos unificados, respectivamente, de paso recto, en ángulo y de tres vías.

110. Materiales para válvulas, válvulas de compuerta y grifos

Los materiales que deben emplearse en la fabricación de válvulas, válvulas de compuerta y grifos, están indicados en una serie de tablas UNI, de las cuales, dada su complejidad no es siquiera posible dar un resumen. Nos limitaremos pues a señalar una selección de dichas tablas, acompañándoles algunas indicaciones de carácter general.

Válvulas *serie ligera:* **UNI 2441**; *serie pesada:* **UNI 3407.**

Válvulas y uniones *para tubos flexibles:* **UNI 2856**; *con bocas roscadas:* **UNI 3920.**

Válvulas de compuerta *serie ligera:* **UNI 2776**; *serie pesada:* **UNI 3005.**

Grifos con brida *serie ligera:* **UNI 2529**; *serie pesada:* **UNI 3289.**

Grifos roscados: UNI 4051.

Para las válvulas de la *serie ligera* se han previsto cuatro o cinco combinaciones de materiales, indicadas en las tablas con **A, B, C, D, E.** Las primeras cuatro combinaciones sólo son válidas para **PN** 40 y **DN** de 20 a 200; y para **PN** 10 y **DN** de 20 a 32; para

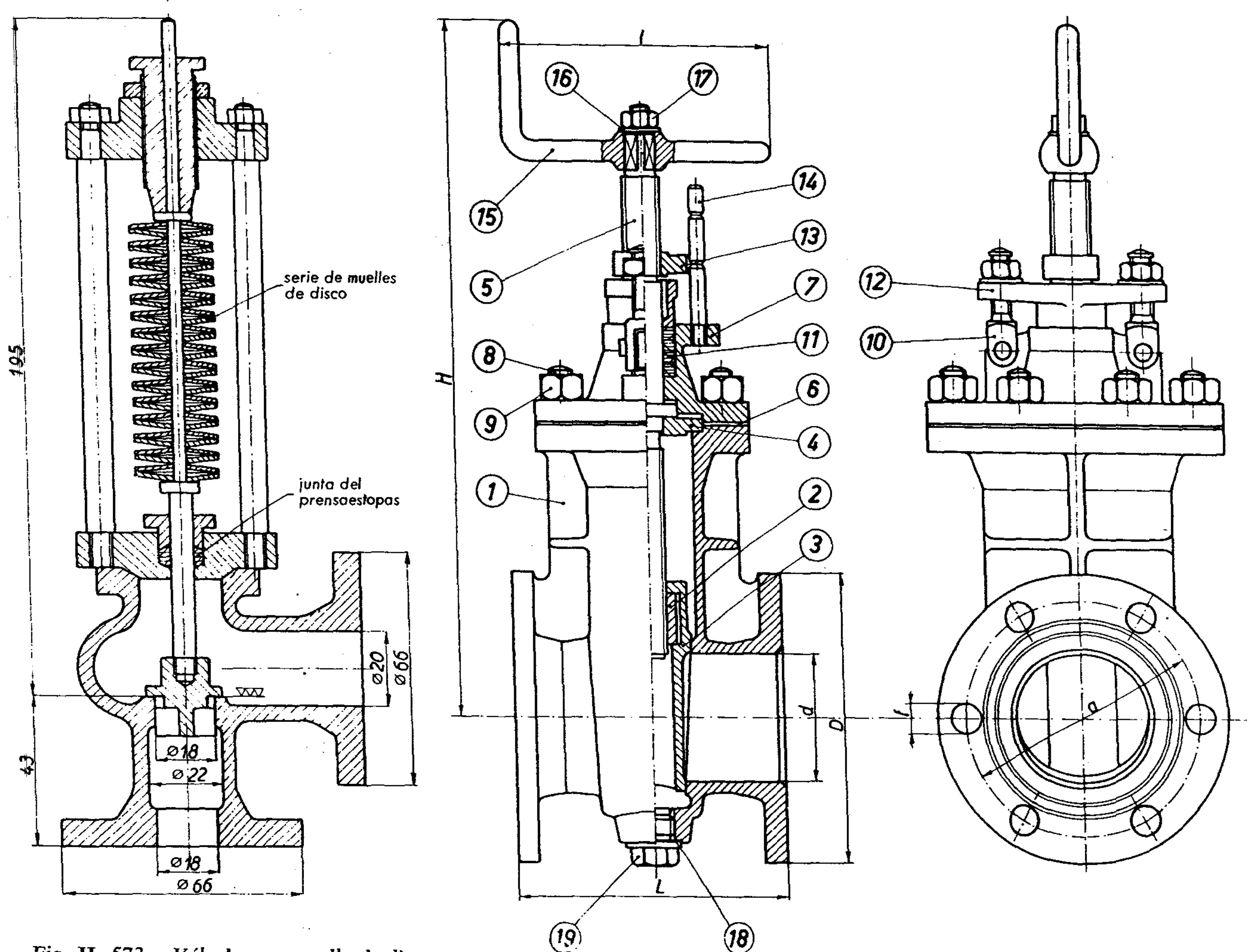


Fig. II, 573. *Válvula con muelle de disco, dibujo de conjunto.*

Nº	Pieza	Cantidad	Material
1	Cuerpo	1	B ZN UNI 1701
2	Tuerca	1	OT 60 UNI 2012
3	Compuerta	1	B ZN UNI 1701
4	Disco de tope	1	OT S 58 UNI 2012
5	Vástago	1	OT S 58 UNI 2012
6	Junta de la tapa	1	Cartón de amianto prens.
7	Tapa	1	B ZN 7 UNI 1701
8	Tornillos de la tapa	6	A 37 UNI 743
9	Tuerca de la tapa	6	A 37 UNI 743
10	Tornillos articulados	2	Latón
11	Empaquetadura	1	Amianto grafitado
12	Prensaestopas	1	OT S UNI 1696
13	Cursor del índice	1	GM 35 UNI 3779
14	Varilla para el índice	1	A 37 UNI 743
15	Manivela	1	A 37 UNI 743
16	Arandela elástica	1	C 72 UNI 3545
17	Tuerca de la manivela	1	A 37 UNI 743
18	Junta del tapón de limpieza	1	Cobre recocido
19	Tapón de limpieza	1	OT 60 UNI 2012

Fig. II, 574. *Válvula de compuerta.*

las otras variaciones de **PN** y **DN**, se puede escoger entre las cinco combinaciones según el servicio de la válvula, del modo siguiente, teniendo presente que para las combinaciones **A, B, C** el cuerpo es de acero y para las **D** y **E** es de bronce.

A: *para carburantes y aceite.* Todas las partes internas son de acero.

B: *para vapor saturado, agua de alimentación o vapor recalentado.* Las partes internas son de acero inoxidable al cromo: algunas pueden ser de fundición maleable.

C (para PN 40 y 10): *para vapor recalentado y para vapor saturado con temperatura máxima de 200° C, agua dulce o marina con temperatura máxima de 45° C:* las partes internas son de acero inoxidable al cromo-níquel para el vapor recalentado, de latón o de acero al cromo-níquel para las otras aplicaciones.

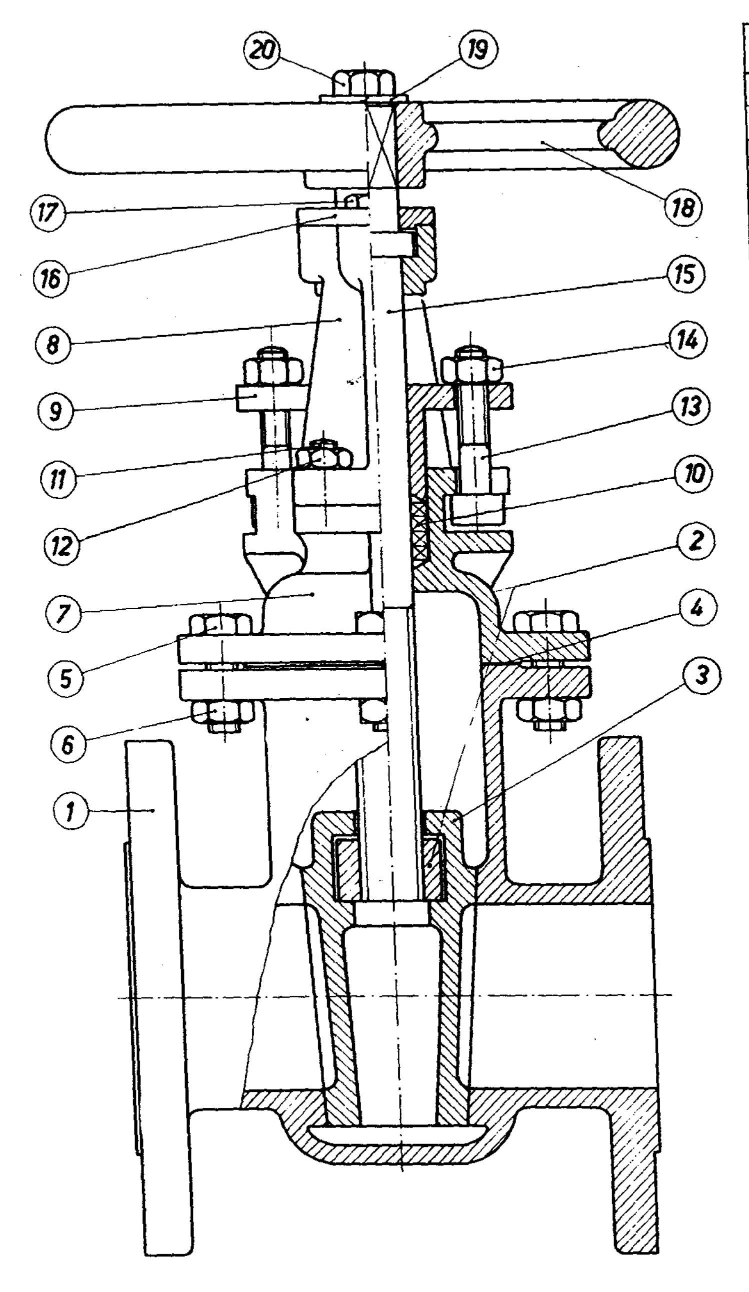


Fig. II, 575. *Válvula de compuerta no unificada.*

Nº	Pieza	Cantidad	Material
1	Cuerpo	1	GMB 40 UNI 3779
2	Tuerca	1	OT 60 UNI 2012
3	Compuerta	1	GMB 40 UNI 3779
4	Junta de la cúpula	1	Cinta de tela engomada
5	Tornillo de la cúpula	6	A 37 UNI 743
6	Tuerca de la cúpula	6	A 37 UNI 743
7	Cúpula	1	GMB 40 UNI 3779
8	Puente	1	GMB 40 UNI 3779
9	Prensaestopas	1	A 37 UNI 673
10	Empaquetadura	1	Trenza de algodón engras.
11	Tornillo del puente	4	A 37 UNI 743
12	Tuerca del puente	4	A 37 UNI 743
13	Tornillo del prensaestopas	2	A 37 UNI 743
14	Tuerca del prensaestopas	2	A 37 UNI 743
15	Vástago	1	X 20 CN 16 UNI 4047
16	Tapa	1	Aq 45 UNI 671
17	Tornillo de la tapa	2	A 37 UNI 743
18	Volante	1	GM 35 UNI 3779
19	Arandela elástica	1	C 72 UNI 3545
20	Tornillo del volante	1	A 37 UNI 743

C (para PN 10 y 6): *para agua salada:* partes internas de acero, acero inoxidable: algunas partes de acero pueden sustituirse por fundición maleable.

D y **E:** *para vapor con temperatura máxima de 200° C; agua dulce y agua salada con temperatura máxima de 45° C:* las partes internas son de latón.

Para las válvulas de la *serie pesada* se han previsto tres combinaciones **A, B, C,** todas con el cuerpo de fundición:

A: *para carburantes y aceite:* partes internas de acero.

B: *para agua salada, agua dulce y vapor hasta 225° C:* partes internas de acero inoxidable al cromo o al cromo-níquel.

C: *para agua salada hasta 45° C, agua dulce y vapor hasta 225° C:* partes internas de latón.

Para las válvulas fundidas *con bocas para enlace con tubos flexibles,* para DN 25 se han previsto cuatro combinaciones de material, todas con el cuerpo de fundición (hierro):

A: *para carburantes y aceite:* partes internas de acero.

B: *para agua dulce y agua salada:* partes internas de acero inoxidable al cromo y al cromo-níquel.

C y **D:** *para agua dulce y agua salada con temperatura máxima de 45° C:* partes internas de latón.

Para las mismas válvulas, con DN 40 y 60, las combinaciones previstas son cinco, indicadas con **A, B, C, D, E.**

A: *para carburantes y aceite:* partes internas de acero y de fundición maleable.

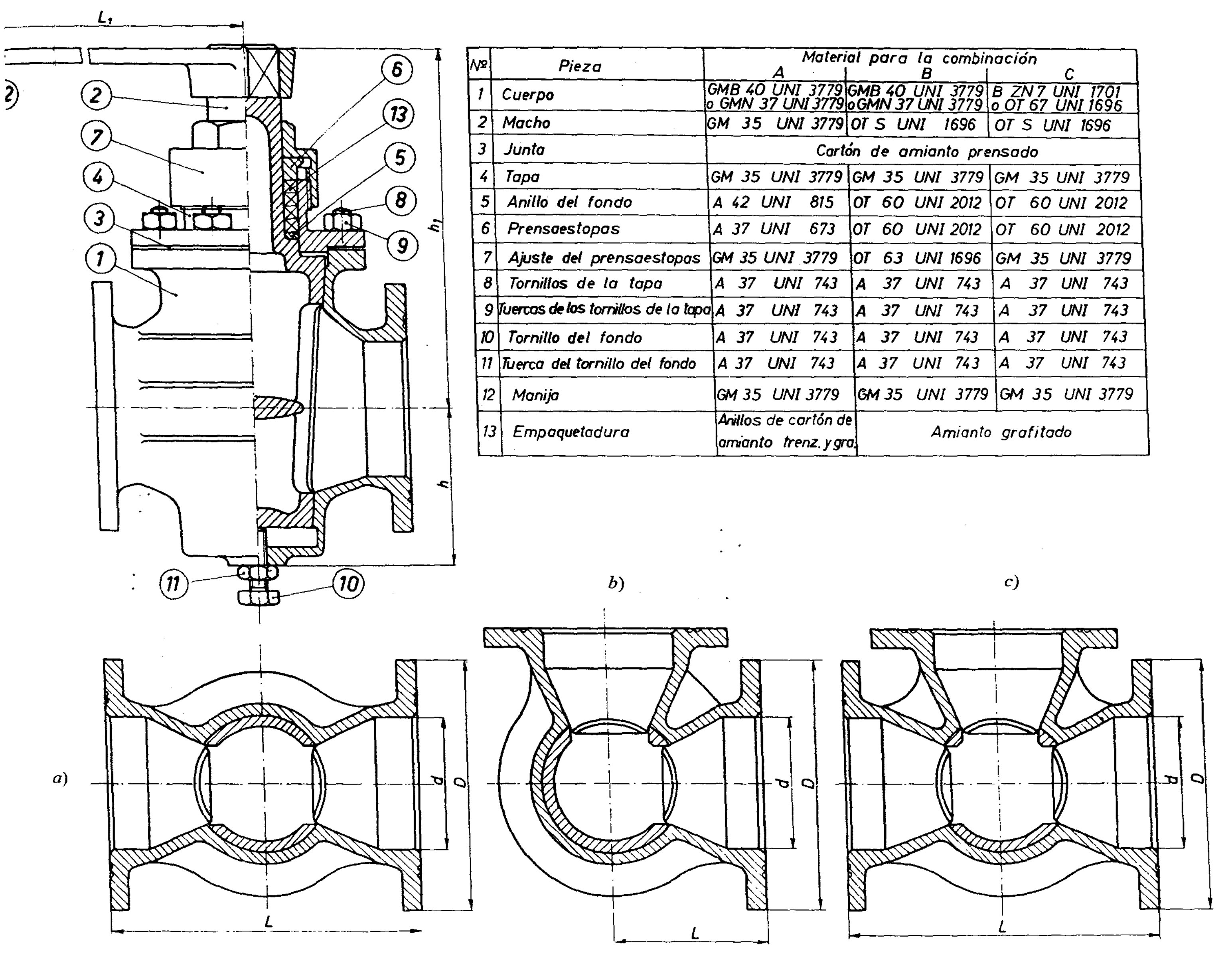
B: *para agua dulce:* partes internas de acero inoxidable al cromo y fundición maleable.

C: *para agua salada:* partes internas de acero inoxidable al cromo-níquel y fundición maleable.

D y **E:** *para agua dulce y agua salada con temperatura máxima de 45° C:* partes internas de latón y bronce.

Para las válvulas *con bocas roscadas* se han previsto tres combinaciones **A, B, C.**

A: *para vapor saturado y recalentado; para agua de alimentación y para aire comprimido:* partes internas de acero inoxidable al cromo-níquel o al cromo y de latón.



Nº	Pieza	Material para la combinación A	B	C
1	Cuerpo	GMB 40 UNI 3779 o GMN 37 UNI 3779	GMB 40 UNI 3779 o GMN 37 UNI 3779	B ZN 7 UNI 1701 o OT 67 UNI 1696
2	Macho	GM 35 UNI 3779	OT S UNI 1696	OT S UNI 1696
3	Junta	Cartón de amianto prensado		
4	Tapa	GM 35 UNI 3779	GM 35 UNI 3779	GM 35 UNI 3779
5	Anillo del fondo	A 42 UNI 815	OT 60 UNI 2012	OT 60 UNI 2012
6	Prensaestopas	A 37 UNI 673	OT 60 UNI 2012	OT 60 UNI 2012
7	Ajuste del prensaestopas	GM 35 UNI 3779	OT 63 UNI 1696	GM 35 UNI 3779
8	Tornillos de la tapa	A 37 UNI 743	A 37 UNI 743	A 37 UNI 743
9	Tuercas de los tornillos de la tapa	A 37 UNI 743	A 37 UNI 743	A 37 UNI 743
10	Tornillo del fondo	A 37 UNI 743	A 37 UNI 743	A 37 UNI 743
11	Tuerca del tornillo del fondo	A 37 UNI 743	A 37 UNI 743	A 37 UNI 743
12	Manija	GM 35 UNI 3779	GM 35 UNI 3779	GM 35 UNI 3779
13	Empaquetadura	Anillos de cartón de amianto trenz. y gra.	Amianto grafitado	

Fig. II, 576. *Grifos unificados:* a) *de paso recto;* b) *angular;* c) *de tres vías. La combinación de material* A *está indicada para carburante y aceite; la combinación* B *para vapor con temperatura máxima de 200° C; agua dulce y salada, con temperatura máxima de 45° C; la combinación* C *para vapor con temperatura máxima de 200° C; agua dulce y salada con temperatura superior a 45° C.*

B: *para carburantes y aceite:* partes internas de acero.

C: *para vapor de descarga a baja presión, agua dulce o marina:* partes internas de latón.

Para las válvulas de compuerta, *serie ligera,* hay cinco combinaciones de materiales, la primera con cuerpo y asiento de acero o fundición maleable, las tres que siguen con cuerpo de acero o fundición maleable y el asiento de bronce, la quinta con cuerpo y asiento de bronce. Para las partes internas se emplean:

A: *para carburantes y aceite:* acero o fundición maleable.

B: *para vapores con temperatura máxima de 225° C o agua dulce:* bronce o latón, acero, acero inoxidable al cromo o fundición maleable, según sean las diferentes partes.

C: *para agua salada:* se preferirá el acero, acero inoxidable, bronce y latón, según sean las partes.

D: *para vapor con temperatura máxima de 225° C; agua dulce o agua salada con temperatura máxima de 45° C:* bronce y acero.

E: para el mismo servicio indicado para **D**: las partes que en **D** son de acero, aquí se fabricarán de bronce y latón.

Para las válvulas de compuerta de la *serie pesada,* sólo se han previsto tres combinaciones **A, B, C,** que son:

A: *para vapor con temperatura máxima de 200° C; para agua dulce; para agua salada con tem-*

peratura máxima de 45° C: partes internas de latón o bronce o fundición maleable.

B: *para carburantes y aceite:* partes internas preferentemente de acero.

C: *para vapor con temperatura máxima de 45° C; para agua dulce o salada:* partes internas de latón, bronce o acero inoxidable al cromo o al cromo-níquel.

Para los grifos se han previsto tres o cuatro combinaciones análogas a las indicadas para las válvulas.

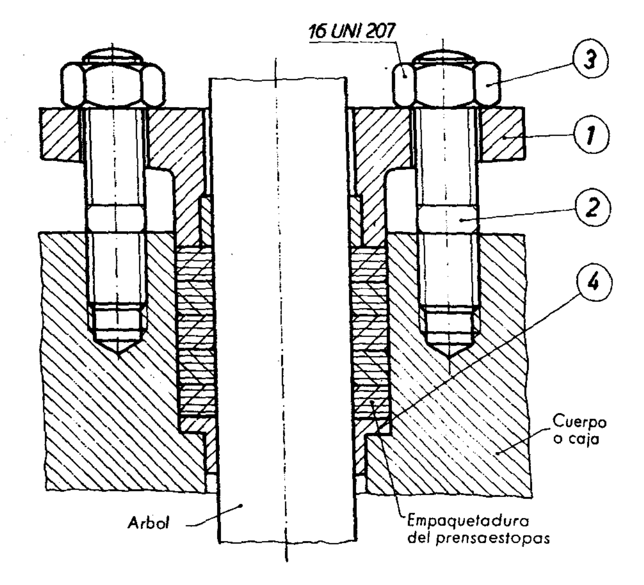
111. Juntas de cierre - Prensaestopas

Cuando las tuberías contienen un fluido a presión, es evidente que si no se toman las precauciones debidas, en los puntos de paso de árboles deslizantes o giratorios, habrá fugas del fluido. Esto ocurriría, por ejemplo, en los vástagos de accionamiento de válvulas, entre otros casos.

Para conseguir el cierre de fluidos a presión se pueden emplear *prensaestopas* o *aros de cierre*, según los casos. Es evidente que estos órganos de cierre se han de escoger en cada caso para adaptarse a las condiciones particulares y a las características de temperatura, presión y densidad del fluido.

En líneas generales, el cierre del prensaestopas se efectúa mediante un *manguito*, atravesado por el árbol o el vástago cuyo cierre se quiere asegurar (fig. II, 577), en cuyo interior está el *prensaestopas o empaquetadura* (1), órgano de cierre del manguito, comprimido por la *junta de cierre* dentro del manguito.

La empaquetadura puede estar formada de estopa engrasada, cuero, cabos de algodón o de otras materias textiles, material fibroso, etcétera.



Nº	Pieza	Cantidad	Material
1	Prensaestopas	1	A 37 UNI 673
2	Espárragos	2	A 37 UNI 743
3	Tuerca	2	A 37 UNI 743
4	Disco del fondo	1	A 37 UNI 743

Fig. II, 577. *Esquema de cierre con prensaestopas. (Se ve el disco del fondo.)*

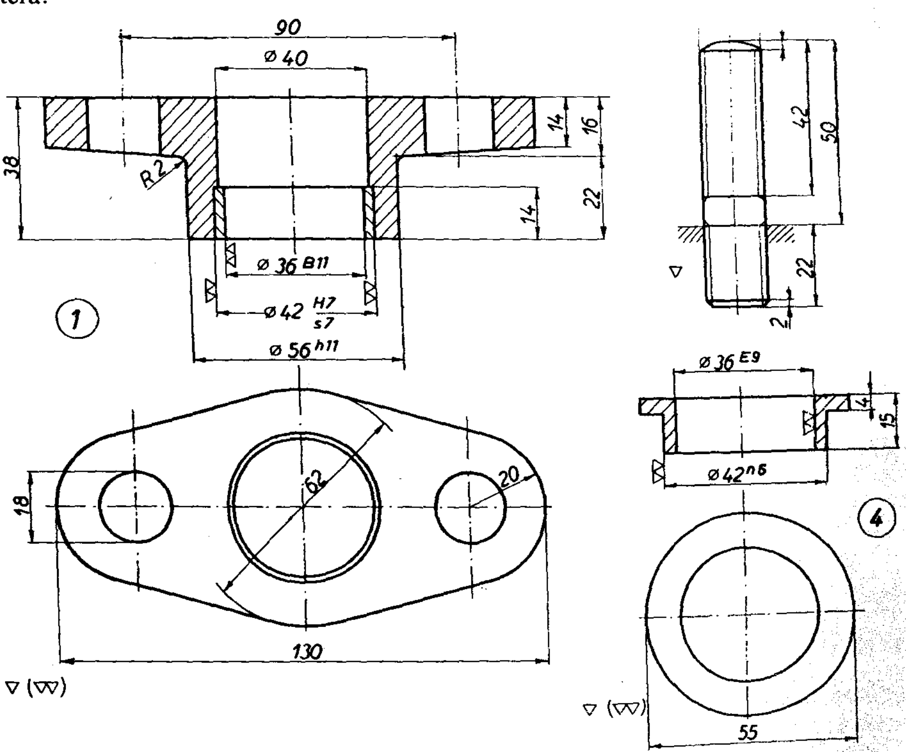
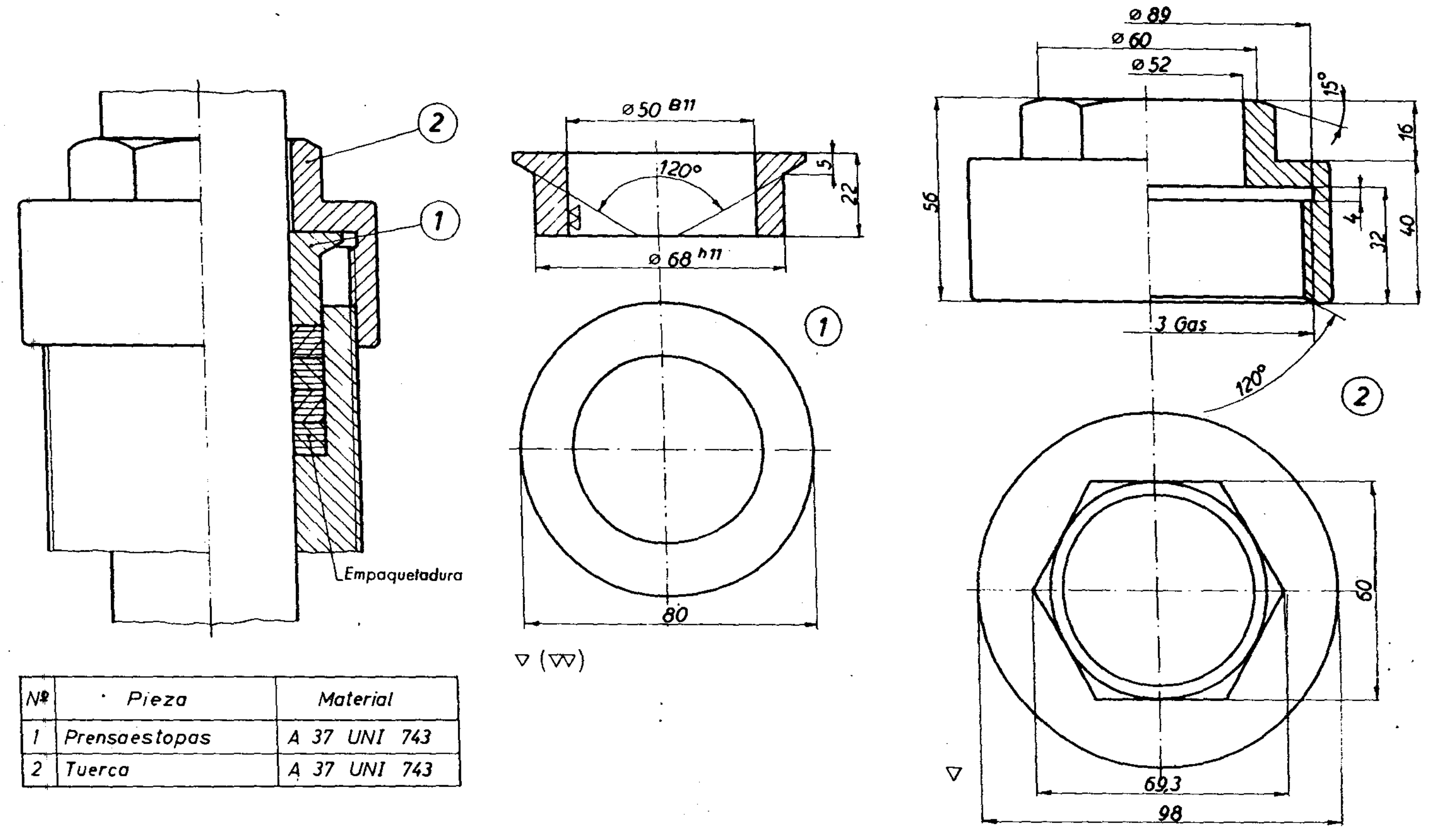


Fig. II, 578. *Detalles del prensaestopas anterior.*



Nº	Pieza	Material
1	Prensaestopas	A 37 UNI 743
2	Tuerca	A 37 UNI 743

Fig. II, 579. *Prensaestopas de caja con tuerca.*

En la figura II, 578 se pueden ver los detalles de la figura II, 577.

Hay muy diversos tipos de empaquetaduras de trenzas, basadas en el mismo principio, en los cuales las diferentes partes pueden tomar diferentes formas según el material utilizado para el cierre. Hay muchos prensaestopas unificados, pero solamente para usos navales.

Las unificaciones se hallan en las tablas siguientes: **UNI 2428** *(prensaestopas de caja con tornillos articulados);* **UNI 2429** *(prensaestopas de caja con espárragos)* y **UNI 2430** *(prensaestopas de caja con tuerca).* En tablas sucesivas se han unificado las medidas de las diferentes partes.

El tipo con tornillos articulados se ve claramente en la figura II, 574; el tipo de caja con espárragos está representado en la figura II, 577. El tipo de caja con tuerca está dibujado en la figura II, 579. No tiene ningún aro o anillo; pero puede tener un *anillo o collar de fondo.* En la figura II, 574 falta esta pieza; pero en la figura II, 577 es bien visible el aro de fondo de que está provisto el prensaestopas.

La confección de las empaquetaduras es muy variada: las más corrientes para presiones elevadas se pueden reducir a los cuatro esquemas representados en la figura II, 580. El tipo *a* se llama *trenzado;* el tipo *b* y el tipo *c,* muy empleados, tienen el inconveniente del mayor desgaste, debido a que el frotamiento tiene lugar sobre toda una de las superficies de la empaquetadura. En el tipo *d* tiene un plegado de acordeón, de forma que el desgaste sólo tiene lugar sobre los bordes de cada pliegue: por otra parte, la forma de laberinto le da mayor elasticidad.

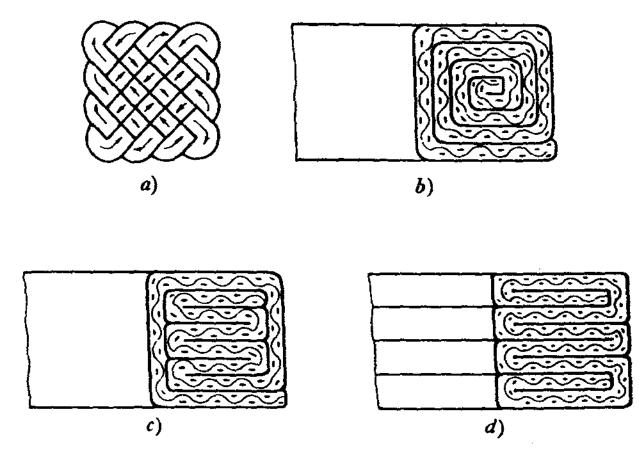


Fig. II, 580. *Cuatro tipos de empaquetadura para altas presiones (Augst y Pfister, Milán).*

El material de que está formada la empaquetadura depende de la temperatura que puede alcanzar el fluido a presión: para temperaturas hasta 120° C, se emplean cabos de algodón (empaquetadura engrasada); para temperaturas hasta 600° C, se emplean cordones de amianto (empaquetaduras secas o grafitadas).

En algunos casos, en lugar de los prensaestopas, se montan sobre los árboles pasantes sencillos anillos, semejantes a los ya estudiados en el n.° 76 como anillos de junta para la lubricación de los cojinetes, etcétera. Estos anillos, construidos de material apropiado, pueden estar provistos de muelles que aseguren el contacto, impidiendo las fugas. Cuando no hay muelle, conviene que la misma presión que produciría la salida del fluido (fig. II, 581) apriete los bordes del anillo contra la caja y contra el árbol.

En la figura II, 582 se ve una aplicación de un anillo de borde elástico.

En la figura II, 583 se pueden ver algunas formas de anillos de borde elástico, y en las figuras II, 584-586, otras aplicaciones de prensaestopas.

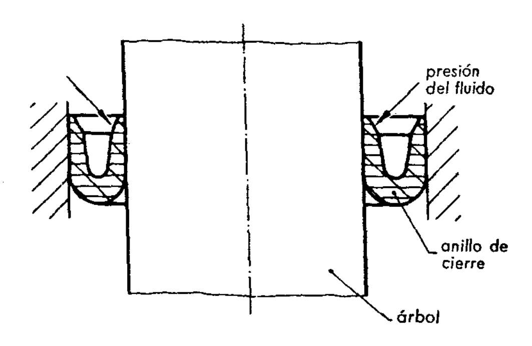


Fig. II, 581. *Los anillos de cierre se han de disponer de forma que la presión apriete su borde contra el árbol.*

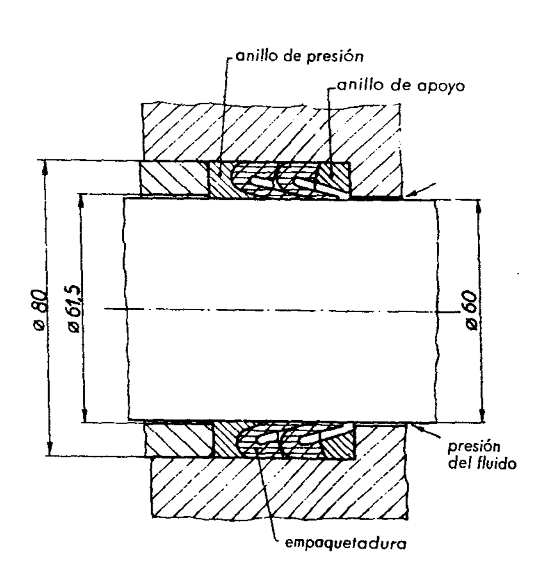


Fig. II, 582. *Aplicación de un anillo de borde elástico.*

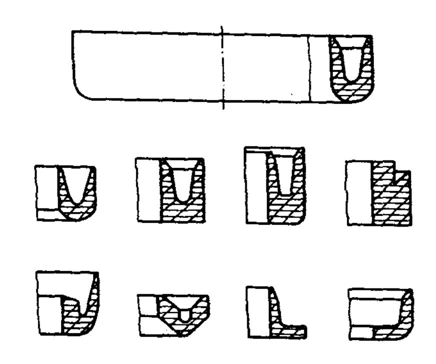


Fig. II, 583. *Tipo de anillos elásticos (Augst y Pfister, Milán).*

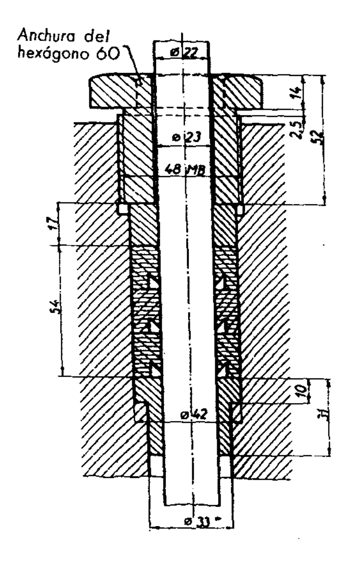


Fig. II, 584. *Otra aplicación de prensaestopas con anillos de cierre.*

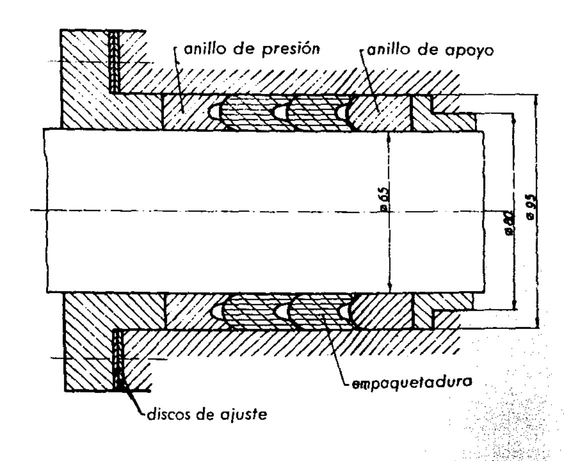


Fig. II, 585. *Otra aplicación de prensaestopas con anillos de cierre.*

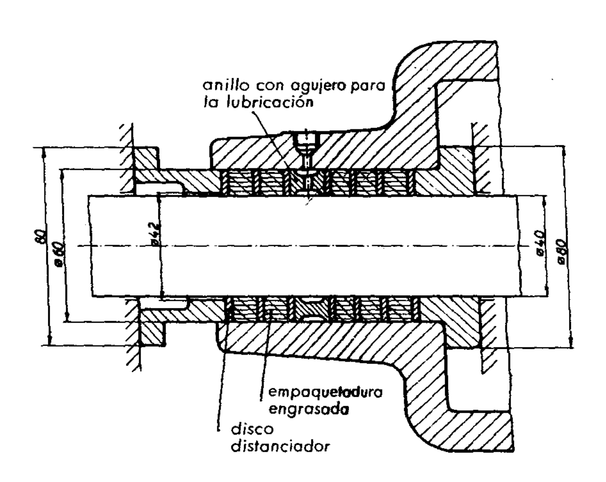


Fig. II, 586. *Otra aplicación de prensaestopas con anillo de cierre.*

Capítulo XV

MECANISMOS VARIOS (FRENOS, REGULADORES, VOLANTES)

112. Frenos - Generalidades

En la técnica se conocen con el nombre de frenos diferentes tipos de mecanismos que tienen diversas aplicaciones, entre las cuales podemos citar:

a) la medida de pares motores (*frenos dinamométricos*);

b) la moderación de la velocidad o el paro automático de dispositivos especiales (montacargas, ascensores, grúas, etc.) cuando desciende la carga por la acción de la gravedad;

c) la reducción gradual de la velocidad (hasta llegar al paro si es necesario, previa supresión de la fuerza motriz) de los vehículos en movimiento.

En lo que respecta al dibujo mecánico, este último tipo de frenos es el más importante, por lo que es el único de que trataremos.

Todos los frenos mecánicos que tienen por objeto reducir la velocidad de un vehículo, transforman toda o parte de su energía cinética en trabajo resistente por frotamiento, o sea, en calor: y los problemas que se presentan a los técnicos especializados en el estudio de los frenos mecánicos derivan precisamente de la dificultad de disipar la cantidad de calor desarrollado, de forma que los aparatos de frenado puedan conservar su plena eficiencia, aun con frenados repetidos. Estas cantidades de calor, cuando las masas en movimiento son considerables y pueden alcanzar grandes velocidades, pueden llegar a exigir el empleo de otros sistemas de frenos, es decir, de tipo diferente de los mecánicos de frotamiento (por ejemplo, frenos eléctricos).

En general, el frenado mecánico, en el sentido indicado, puede ser manual (en sentido lato, es decir, con mecanismos de freno maniobrados directamente por el operador, a mano, con pedal, etc.), o bien indirecto mediante un servofreno, que funciona subordinado al accionamiento manual del operador, produciendo un gran aumento del efecto del frenado, con un fuerza limitada y aun absolutamente insignificante de parte del operador.

Nos limitaremos a considerar los frenos de acción directa, que dividiremos en dos clases:

a) *frenos de zapata;*

b) *frenos de cinta.*

113. Frenos de zapata y frenos de cinta

Freno de zapata. Se compone en esquema de un fuerte tambor sobre cuya superficie exterior o interior se aprietan una o dos zapatas de material adecuado (fig. II, 587), mediante apropiadas mordazas movidas por palanca.

Si **F** es la fuerza ejercida en **N** en el sentido indicado en la figura, **Q** la fuerza ejercida sobre el tambor, la fuerza tangencial de frotamiento **T** resultante tendrá una intensidad:

$$T = f\,Q$$

siendo **f** el coeficiente de rozamiento.

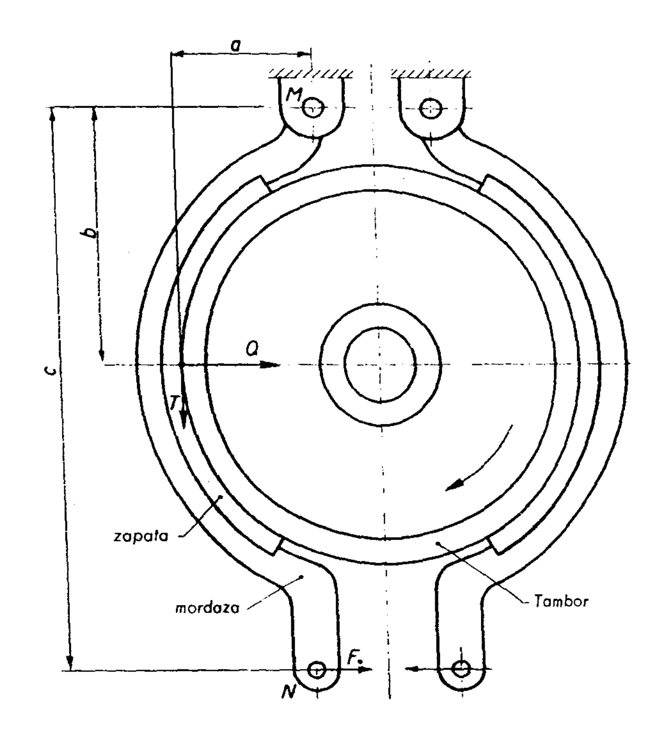


Fig. II, 587. *Esquema de freno de zapatas.*

Conociendo los bràzos **a, b, c,** de las tres fuerzas **F, Q, T,** dispuestas como indica la figura II, 587, se puede escribir la condición de equilibrio, igualando a cero la suma algebraica de los momentos respecto al punto **M,** o sea:

$$-\mathbf{Fc} + \mathbf{Qb} + \mathbf{Ta} = \mathbf{0}.$$

Esta ecuación, junto con la anterior, permite calcular **Q** y **T** en función de los otros datos.

Es evidente que por este procedimiento se produce una presión transversal sobre el árbol muy intensa: y con objeto de reducirla se disponen siempre dos zapatas, como indican las figuras.

Las mismas consideraciones se aplican a los frenos de zapatas interiores o de expansión (fig. II, 588), en los cuales la separación de las zapatas se consigue maniobrando una leva por la acción de una palanca (a pedal).

al que se han incorporado hilos de latón (*ferodo flexible*, fabricado en cintas de varios anchos y espesores): hay también *ferodos rígidos*, formados por capas de tejido de amianto sobrepuestas, comprimidas y unidas entre sí por el fabricante, mediante adecuadas resinas sintéticas (tipo baquelita, etc.).

Para dispersar el calor desarrollado, los tambores han de tener una forma bien estudiada.

Frenos de cinta. Consiste en una cinta metálica, guarnecida de *ferodo*, que se arrolla sobre un tambor (fig. II, 589), teniendo un extremo fijo en **M.** En el extremo opuesto **N** se aplica una fuerza $\mathbf{T_1}$, que engendra una fuerza tangencial de rozamiento, que es la que produce el frenado. A consecuencia de este rozamiento, en el extremo libre de la cinta se tiene una tensión $\mathbf{T_1} < \mathbf{T_2}$; y la diferencia entre $\mathbf{T_1}$ y $\mathbf{T_2}$ será tanto mayor cuanto mayor sea el ángulo abrazado α. Se tiene en efecto:

$$\mathbf{T_1} = \mathbf{T_2} \cdot 2{,}7^{f\alpha}$$

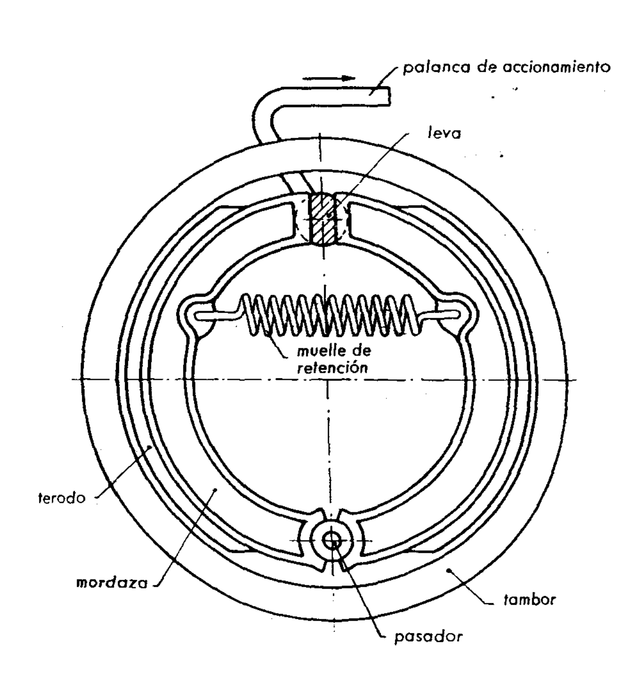


Fig. II, 588. *Esquema de freno de zapatas interiores.*

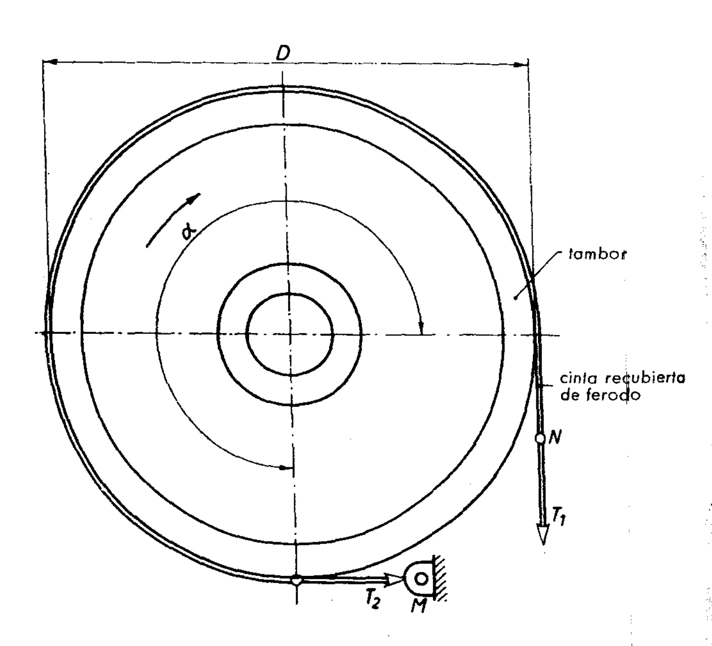


Fig. II, 589. *Esquema de freno de cinta.*

El mando de las mordazas puede ser también *hidráulico*, es decir, por la acción de un émbolo que, a través de una distribución del líquido conveniente, acciona otro émbolo (o un dispositivo que haga el mismo efecto) y produce la presión de la zapata sobre el tambor.

La eficacia de un freno de este tipo depende sustancialmente de dos elementos: *el valor del coeficiente* **f** *y la rapidez de dispersión del calor desarrollado.* Para aumentar **f**, las mordazas se guarnecen de ferodo, material especialmente estudiado para este objeto, constituido generalmente por un tejido de amianto

en donde **f** es el coeficiente de rozamiento y α el ángulo medido en radiantes.

La acción de frenado es $\mathbf{T_1} - \mathbf{T_2}$ y el momento resultante $\mathbf{M_f}$ es:

$$\mathbf{M_f} = (\mathbf{T_1} - \mathbf{T_2})\frac{\mathbf{D}}{\mathbf{2}} = \mathbf{T_2}\frac{\mathbf{D}}{\mathbf{2}}(2{,}7^{f\alpha} - 1).$$

Mientras que en el freno de zapatas la acción de frenado es independiente del sentido de rotación del tambor, en el freno de cinta el efecto del freno es mucho mayor cuando el tambor gira en el sentido que indica la flecha de la figura.

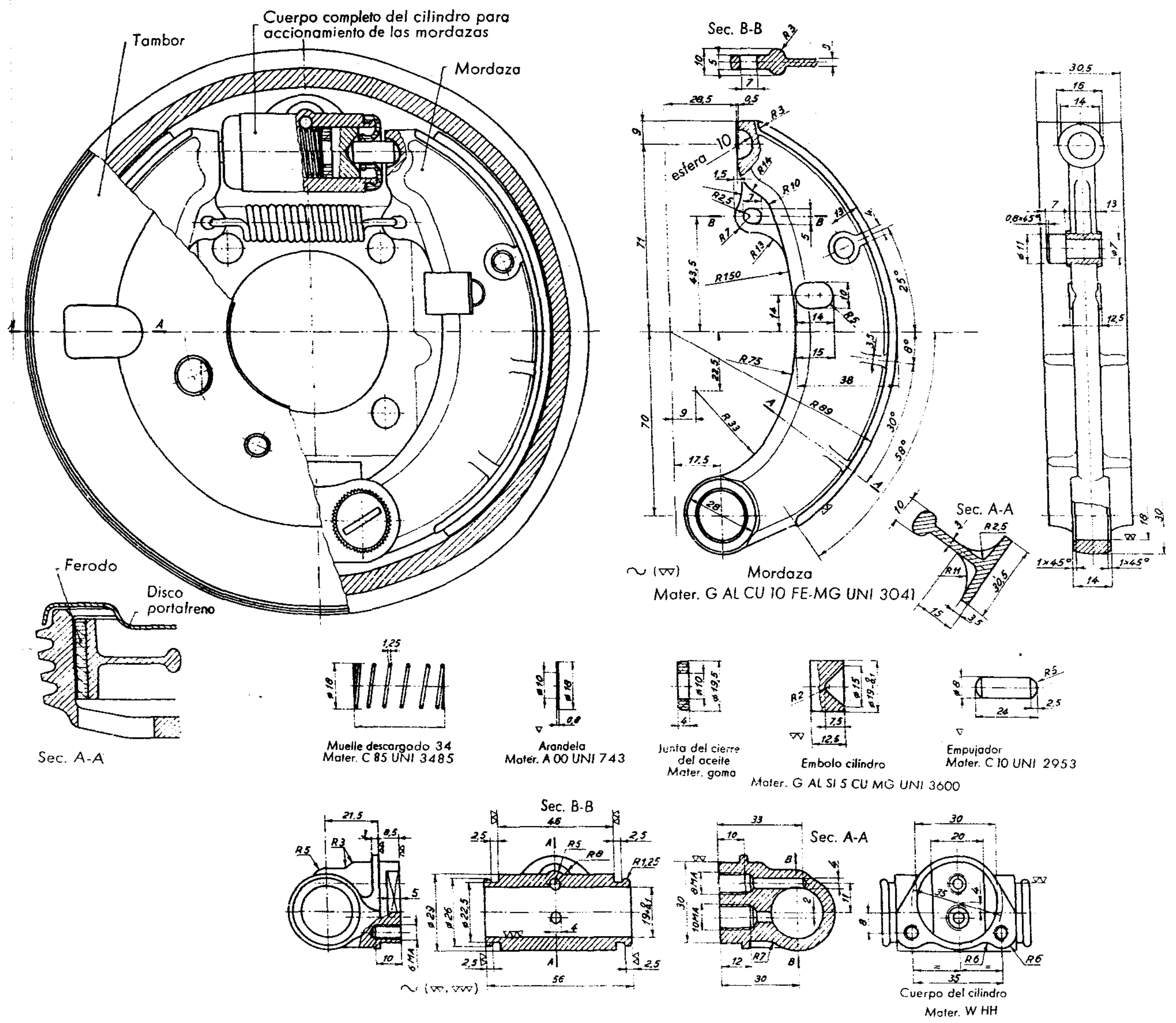


Fig. II, 590. *Freno de zapatas para automóvil (conjunto y algunos detalles).*

En la figura II, 590 se representan el conjunto y algunos detalles de un freno de zapatas para automóvil.

114. Regulación de la velocidad de un árbol Generalidades

La regulación de la velocidad de un árbol, movido por un motor exotérmico o endotérmico, puede tener dos finalidades distintas:

a) *obtener una velocidad constante por la supresión de las irregularidades de rotación debidas a las variaciones del par motor* durante cada ciclo de un motor alternativo; esta regulación se consigue mediante el *volante;*

b) *regular la velocidad durante todo el tiempo de funcionamiento de la máquina,* de modo que el árbol gire a un número de vueltas por minuto determinado. Para esta regulación se emplean los *reguladores,* que actúan generalmente por la fuerza centrífuga.

115. Volante

Un volante es una rueda constituida por un cubo, un disco macizo o de brazos, y una llanta, en la cual está concentrada la mayor parte de la masa del volante, con objeto de que tenga un gran momento de inercia.

Para calcular un volante es preciso trazar el diagrama del trabajo producido por la máquina o motor en un período o ciclo, diagrama que como se sabe corta el eje de abscisas en los puntos correspondientes a los puntos muertos del émbolo. Este cálculo se

estudia en el curso de motores térmicos y aquí no se puede explicar, por la evidente falta de espacio.

Por el cálculo se obtiene el momento de inercia **I** del volante o mejor dicho su **PD²**.

Por lo general, el peso de los brazos es aproximadamente 1/3 del peso de la llanta y por lo tanto su momento de inercia es aproximadamente 1/10 del de la llanta. En consecuencia, el valor calculado de **PD²** se reduce a 9/10, o sea, se ha de multiplicar por 0,9, y se calcula la sección y el diámetro de la llanta, teniendo en cuenta que el diámetro exterior mide de 4 a 7 veces la carrera del émbolo y como promedio 5,5 veces; que la llanta está sometida a la fuerza centrífuga y que ésta se calcula suponiendo que el volante no tiene brazos. La fatiga del material de la llanta debida a la fuerza centrífuga expresada en kilogramo/cm², la designamos por σ_c, y siendo γ el peso específico:

$$\sigma_e = \frac{\gamma V_m^2}{10g}$$

Para la fundición, $\gamma = 7{,}25$ kg/dm³, por lo que $\sigma_e = 0{,}074\ V_m^2$.

Para el acero fundido, $= 7{,}85$ kg/dm³, por lo que $\sigma_e = 0{,}080\ V_m^2$.

Para la fundición, la máxima velocidad admisible es de 35/40 m/seg; pero por lo general no se excede nunca de los 30 m/seg, resultando $\sigma_e = 67$ kg/cm².

También los brazos se han de calcular por la tensión de la fuerza centrífuga que les corresponde junto con la de la parte de llanta correspondiente, y que cuando se hallan en la posición más baja están además sometidos al peso propio y al de la mitad de la llanta *(condiciones de carga más desfavorables)*.

Los volantes de gran tamaño se funden en dos partes, que luego se unen mediante pernos. El calado de los volantes sobre los árboles se efectúa con chavetas tangenciales. La sección de la llanta es generalmente rectangular, con el lado en sentido radial igual a 1,5-2,2 veces el lado en sentido axial.

En las figuras II, 591-592 se representan un volante y un detalle de un volante en dos mitades.

116. Reguladores de fuerza centrífuga

El tipo más antiguo es el conocidísimo regulador de Watt; las dos masas esféricas, diametralmente opuestas, a cada velocidad tienen una posición determinada de equilibrio, en función del peso propio, de la fuerza centrífuga y del rozamiento. Al aumentar la velocidad, las bolas se separan del eje de rotación elevándose; cuando la velocidad disminuye, las bolas se acercan al eje descendiendo; estos movimientos se traducen en una disminución o aumento de la admisión, y a consecuencia de la variación de la potencia,

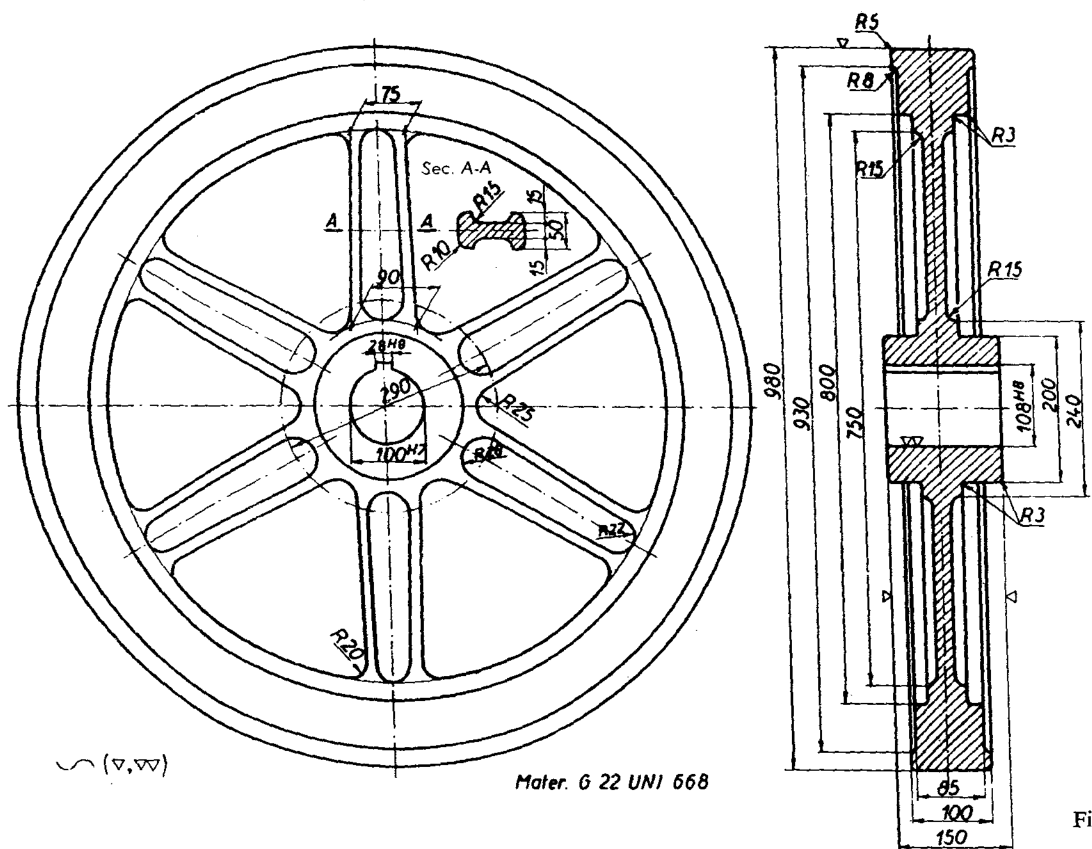


Fig. II, 591. *Volante de una pieza.*

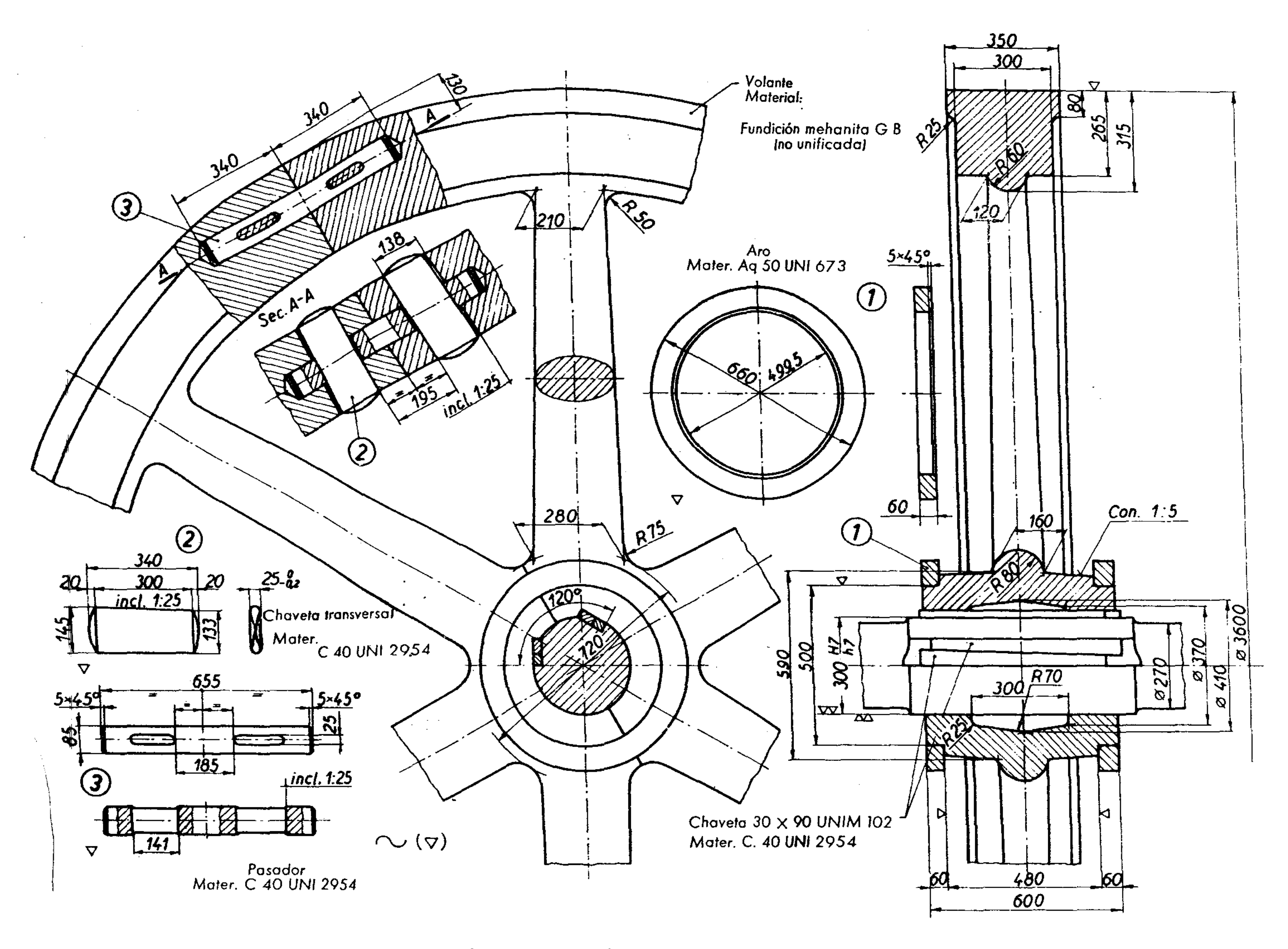


Fig. II, 592. *Volante en dos mitades.*

originan una nueva variación de la velocidad, que alcanza nuevamente la de régimen establecida.

Este esquema de funcionamiento simplificado experimenta en la práctica algunas sensibles variaciones, por cuanto cada regulador presenta cierto *grado de insensibilidad*. En realidad, si la velocidad angular es ω, el regulador no empieza a actuar hasta que la velocidad angular no se eleva hasta ω'' o desciende hasta ω'; cuanto más pequeña sea la diferencia entre ω' y ω'' mayor será la sensibilidad del regulador.

Los tipos de regulador empleados en la práctica son muy numerosos, por lo que no es posible reproducirlos en este texto.

Se llama únicamente la atención sobre los frenos que moderan eventuales movimientos oscilatorios que pueden experimentar los reguladores y que podrían ocasionar irregularidad de funcionamiento de las máquinas a que están aplicados. Casi siempre se trata de frenos de aceite.

Capítulo XVI

ACCESORIOS VARIOS Y OTRAS UNIFICACIONES

117. Ganchos

Los ganchos son órganos de tracción, dispuestos para poderse unir con rapidez a anillas, extremos de cuerdas, enganches de remolques, eslingas, etcétera.

Hay varios tipos de ganchos unificados. Los ganchos de extremos de tensores **(UNI 2027)** están representados en la figura II, 593.

La figura II, 594, representa el esquema de aplicación de un gancho de tracción para vagón de ferrocarril, y la figura II, 595 el dibujo acotado del gancho solo.

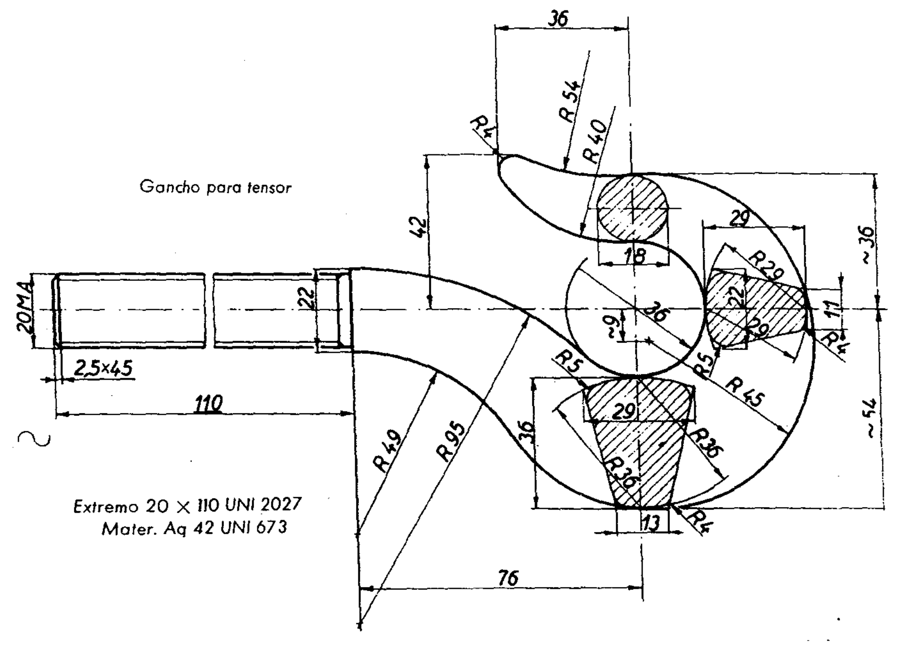


Fig. II, 593. *Gancho para tensor.*

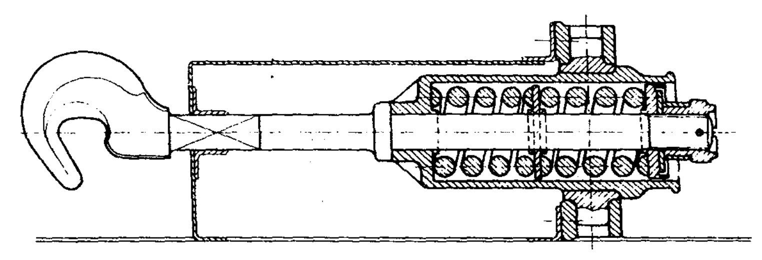


Fig. II, 594. *Aplicación de gancho para vagón de ferrocarril.*

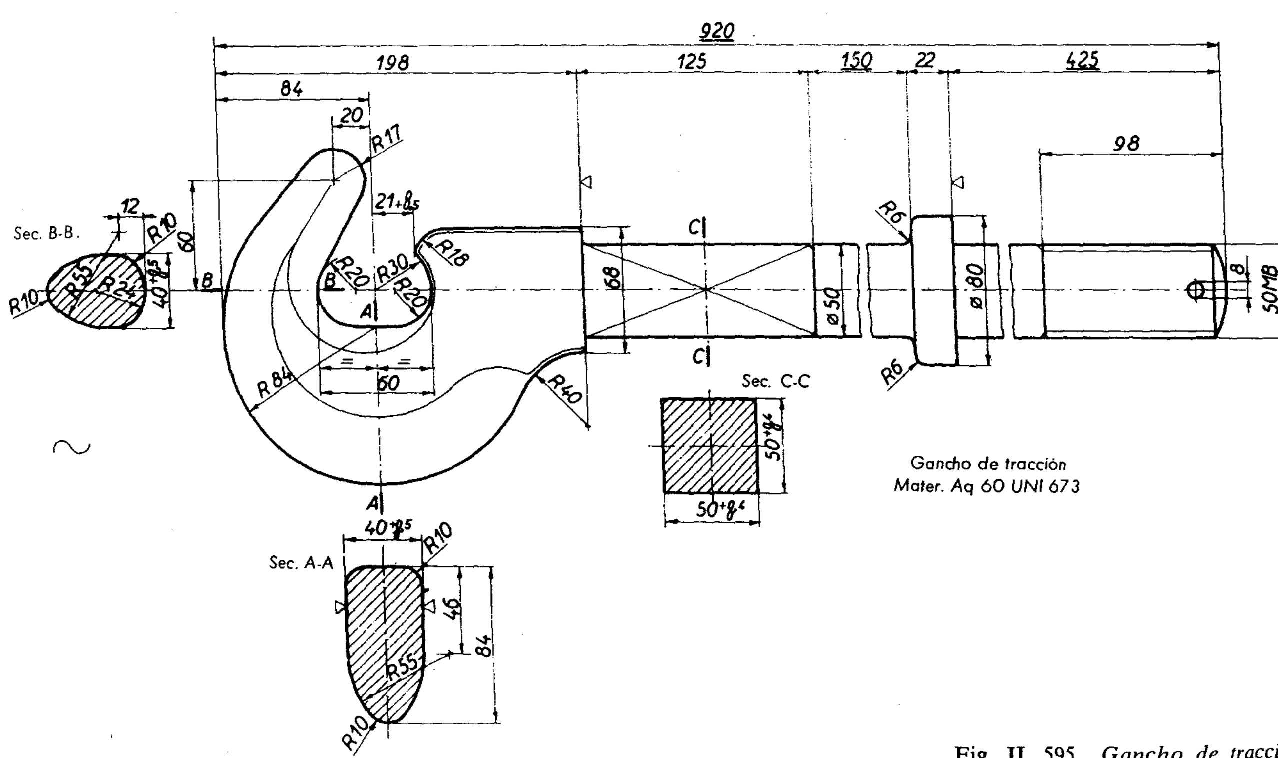


Fig. II, 595. *Gancho de tracción.*

118. Tensores

Son mecanismos de tornillo constituidos por un manguito y dos barras roscadas, unidas por rosca al manguito. Las roscas de las dos barras y las correspondientes del manguito son de sentido inverso, de forma que girando el manguito en un sentido o en otro, los dos extremos se aproximan o se separan al mismo tiempo. Se puede, así, por medio de un tensor, ejercer un notable esfuerzo de tracción, valiéndose de la ventaja del mecanismo tornillo-tuerca. Los tensores corrientes están unificados en la tabla **UNI 2018.**

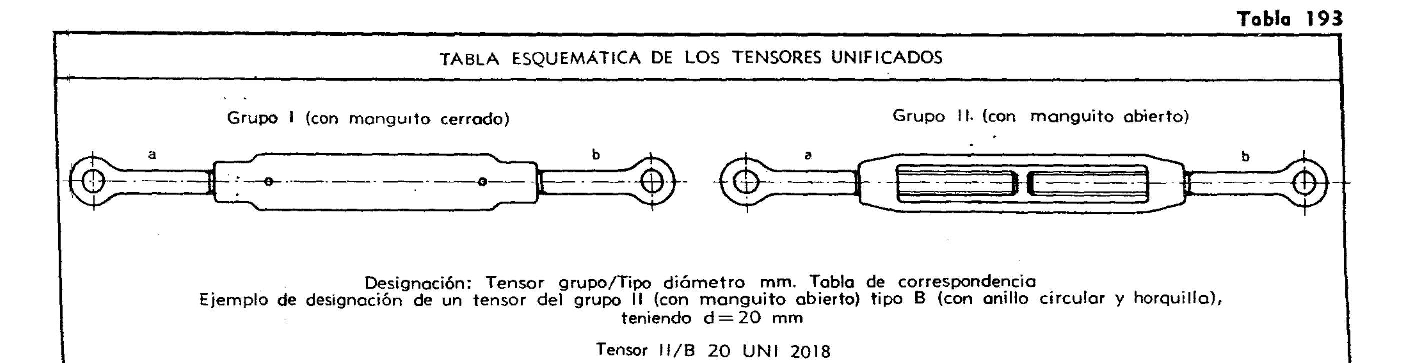
Los extremos de los tensores pueden ser de formas muy variadas, tales como *de horquilla, de anilla circular* o *de anilla alargada, de gancho* y *de torniquete,* con todas las combinaciones, como se ve en la tabla 193.

119. Cáncamos

Son unas anillas que se fijan sólidamente a máquinas, cajones, depósitos, etc., con objeto de facilitar su elevación mediante cabrestantes, grúas, etc. Por el ojo de la anilla se pasa, generalmente, una cuerda o cadena para suspenderla del gancho del aparato de elevación.

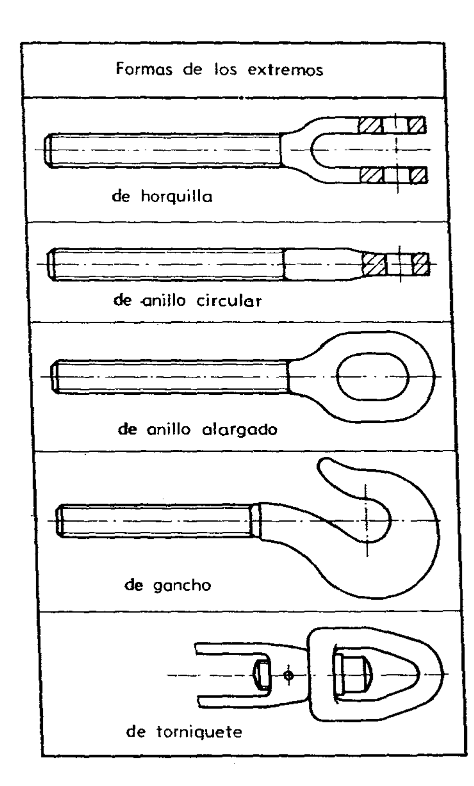
Hay dos tipos de cáncamos unificados, *de anilla circular, con vástago roscado* **(UNI 2947)** (fig. II, 596) y *de anilla alargada, con agujero roscado* **(UNI 2948)** (fig. II, 597). En las tablas UNI se indican las principales medidas de los cáncamos, así como las cargas máximas que pueden soportar tanto en el caso de un solo cáncamo *(agujero derecho)* como en el caso de dos cáncamos *(tracción a 45°):* en este último caso cada cáncamo sólo puede soportar la mitad de la

Tabla 193



Designación: Tensor grupo/Tipo diámetro mm. Tabla de correspondencia
Ejemplo de designación de un tensor del grupo II (con manguito abierto) tipo B (con anillo circular y horquilla), teniendo d = 20 mm

Tensor II/B 20 UNI 2018



Tipo	Combinaciones de los extremos		Tabla de unificación
	a	b	
A	horquilla	horquilla	UNI 2018
B	anillo circular	horquilla	
C	anillo alargado	horquilla	
D	gancho	horquilla	
A	horquilla	torniquete	UNI 2019
B	anillo circular	torniquete	
C	anillo alargado	torniquete	
D	gancho	torniquete	
A	anillo circular	anillo circular	UNI 2020
B	anillo alargado	anillo alargado	
C	anillo alargado	anillo circular	
A	gancho	gancho	UNI 2021
B	anillo circular	gancho	
C	anillo alargado	gancho	

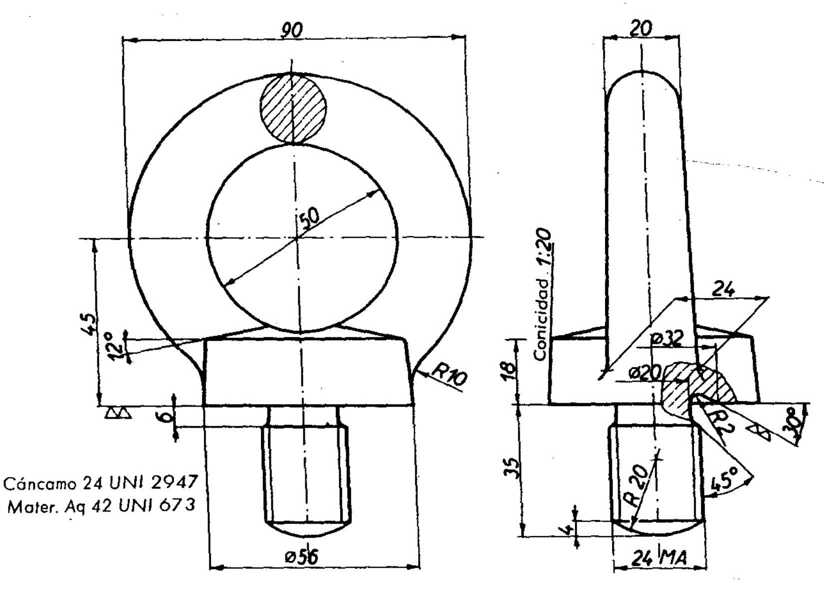


Fig. II, 596. *Cáncamo de anilla circular.*

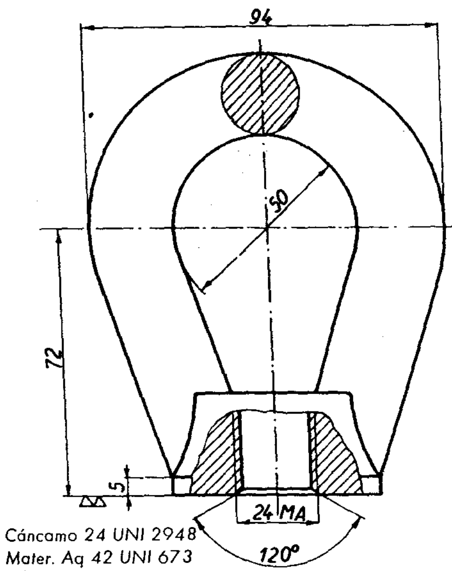


Fig. II, 597. *Cáncamo de anilla alargada.*

carga admisible para la tracción derecha. Se construyen de acero Aq 34 UNI 1755 o de calidad superior y pueden estar galvanizados o protegidos contra la oxidación por cualquier otro sistema.

En la tabla 194 se han extractado las dos tablas citadas. Hay otros muchos tipos de cáncamos y enganches para usos navales, los cuales se hallan unificados en la tabla UNI 2546, a la que remitimos al lector.

120. Otras unificaciones en la construcción de máquinas herramientas

En la construcción de máquinas, además de las unificaciones expuestas ya anteriormente con suficiente extensión *(ajustes y tolerancias correspondientes, conicidad, roscas, etc.)* y de los concimientos técnicos *(p. ej. aplicaciones de cojinetes, etc.)* en muchos casos es preciso tener en cuenta otras unificaciones, como las que exponemos a continuación:

Ranuras en T mecanizadas, para máquinas herramientas. Unificadas en la tabla **UNI 1935,** resumida en la tabla 195.

Lengüetas de deslizamiento para máquinas herramientas. Son las lengüetas que se acoplan a las ranuras antes indicadas.

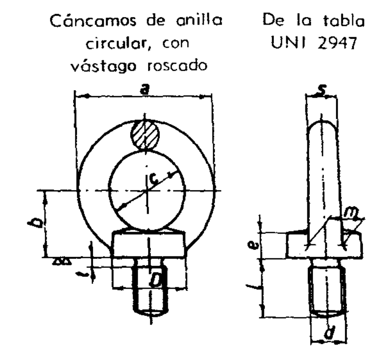
Estas lengüetas están unificadas en la tabla **UNI 1936,** resumida también en la citada tabla 195.

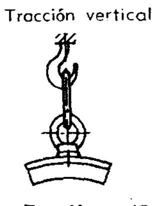
Descargas. En las últimas tablas **UNI 4386** se han unificado las ranuras de descarga para partes que se han de rectificar. Los elementos esenciales de dichas tablas están reunidos en la tabla 196. En la figura II, 598 se puede ver un ejemplo.

Redondeados. También se han unificado en la tabla **UNI 4429,** que se acaba de publicar, los redondeados y su representación en los dibujos. Véase un extracto de la misma en la tabla 197.

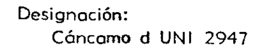
Cáncamos

Cáncamos de anilla circular, con vástago roscado — De la tabla UNI 2947

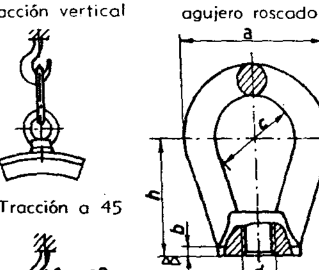




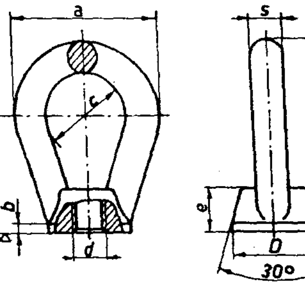
Designación:
Cáncamo d UNI 2947



Tracción vertical



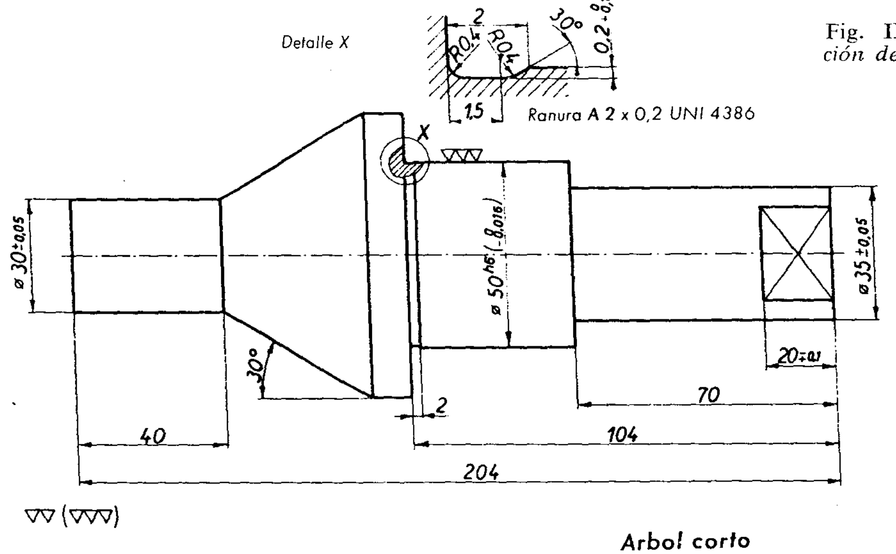
Cáncamos de anilla alargada, con agujero roscado — De la tabla UNI 2948



Designación:
Cáncamo d UNI 2948

Medidas en mm

Indicación para la designación d	Rosca	De anilla circular									De anilla alargada								Carga admisible para tracción vertical kg
		a	c	D	e	h	l	m	s	t	a	b	c	D	e	H	h	s	
10	10 MA	45	25	25	8	22	18	12	10	3	44	3	24	30	14	58	36	10	160
12	12 MA	54	30	30	10	26	22	14	12	4	56	4	30	34	16	72	44	13	250
16	16 MA	63	35	35	12	32	26	16	14	4	68	4	36	40	20	86	52	16	400
20	20 MA	76	42	48	15	38	30	20	17	5	80	4	42	48	24	100	60	19	630
24	24 MA	90	50	56	18	45	35	24	20	6	94	5	50	56	28	119	72	22	1000
27	27 MA	98	54	62	20	50	40	26	22	6	103	6	54	62	32	129,5	78	24	1250
30	30 MA	106	58	65	22	54	45	30	24	7	112	6	60	68	36	141	85	26	1600
36	36 MA	126	68	80	26	64	50	34	29	8	128	8	70	80	42	164	100	29	2500
42	42 MA	146	78	90	30	74	60	40	34	8	148	10	82	92	50	192	118	33	3750
48	48 MA	164	88	100	34	82	70	44	38	8	162	12	90	105	58	211	130	36	5000
56	56 MA	190	102	110	38	95	80	52	44	9	180	12	100	120	68	236	146	40	7100
64	64 MA	224	120	120	44	112	90	62	52	9	200	14	112	135	78	265	165	44	10000
72	72 MA	251	135	140	48	126	100	68	58	9	216	14	120	150	88	288	180	48	12500
80	80 MA	280	156	160	55	145	115	78	66	9	238	14	132	165	98	319	200	53	16000
100	100 MA	330	180	190	64	165	130	88	75	9	262	16	146	190	120	351	220	58	20000



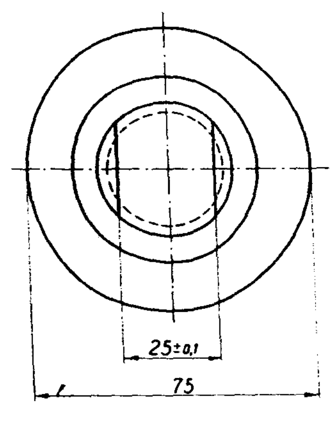


Fig. II, 598. *Árbol corto, con indicación de la ranura de descarga (tabla 196).*

Arbol corto
Material Aq 42 UNI 673

Escala 1:1

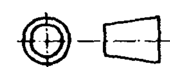
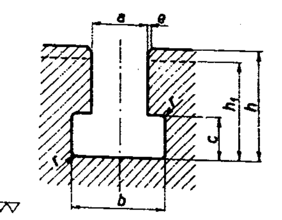


Tabla 195

(De la tabla UNI 1935)



Ranuras en T mecanizadas, para máquinas herramientas

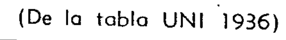
Ejemplo de designación de una ranura en T mecanizada, para máquina herramienta, teniendo a = 14 mm:

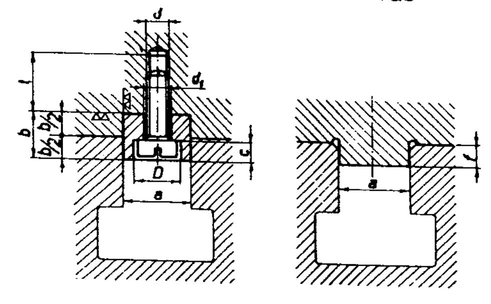
Ranura 14 UNI 1935

Medidas en mm

Indicación para la designación **a**	Tolerancia de **a**			b		c		e	h	h_1	r
	(H 7)	(H 8)	(H 11)	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo				
6	0 / + 0,012	0 / + 0,018	0 / + 0,075	11	10,5	5,5	5	1 × 45°	13	11	0,5
8	0 / + 0,015	0 / + 0,022	0 / + 0,090	15	14,5	7,5	7	1 × 45°	18	15	0,5
10	0 / + 0,015	0 / + 0,022	0 / + 0,090	18	17,5	8,5	8	1 × 45°	21	18	0,5
12	0 / + 0,018	0 / + 0,027	0 / + 0,110	21	20,5	9,5	9	1 × 45°	24	21	0,5
14	0 / + 0,018	0 / + 0,027	0 / + 0,110	24	23,5	10,5	10	1 × 45°	27	24	0,5
16	0 / + 0,018	0 / + 0,027	0 / + 0,110	27	26,5	11,5	11	1 × 45°	30	27	0,5
18	0 / + 0,018	0 / + 0,027	0 / + 0,110	30	29,5	12,5	12	1,5 × 45°	34	30	1
22	0 / + 0,021	0 / + 0,033	0 / + 0,130	38	37,5	16,5	16	1,5 × 45°	43	38	1
28	0 / + 0,021	0 / + 0,033	0 / + 0,130	48	47	21	20	1,5 × 45°	54	48	1
36	0 / + 0,025	0 / + 0,039	0 / + 0,160	60	59	26	25	2 × 45°	71	61	1,5
42	0 / + 0,025	0 / + 0,039	0 / + 0,160	70	69	30	29	2 × 45°	81	71	1,5

Lengüetas de deslizamiento para máquinas herramientas


(De la tabla UNI 1936)



Tolerancia de a			Ajustes	
Para el cuello de la ranura en T	Para la lengüeta	Para el asiento de la lengüeta	Lengüeta ranura en T	Lengüeta asiento de la lengüeta
H 7 } H 8 }	h 7	M 7	{ H 7 — h 7 { H 8 — h 7	M 7 — h 7
H 11	h 9	J 8	H 11 — h 9	J 8 — h 9

Medidas en mm

Ranura en T UNI 1935	a	b	c	D	d	d_1	f	t	Tornillos de fijación
6	6	6	2,2	5,4	2,6 MA	2,8	3	8	2,6 × 10 UNI 236
8	8	7	2,5	6,5	3 MA	3,2	3,5	10	3 × 12 UNI 236
10	10	8	2,5	6,5	3 MA	3,2	4	10	3 × 12 UNI 236
12	12	8	3,5	8	4 MA	4,3	4	10	4 × 12 UNI 236
14	14	9	5	11	5 MA	5,3	4,5	12	5 × 14 UNI 236
16	16	10	5	11	5 MA	5,3	5	14	5 × 16 UNI 236
18	18	11	6	12	6 MA	6,4	5,5	14	6 × 16 UNI 236
22	22	13	6	12	6 MA	6,4	6,5	18	6 × 20 UNI 236
28	28	17	8	18	10 MA	10,5	8,5	22	10 × 28 UNI 236
36	36	23	10	20	12 MA	13	11,5	26	12 × 35 UNI 236
42	42	28	10	20	12 MA	13	14	26	12 × 40 UNI 236

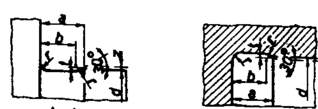
Tabla 196

(De la tabla UNI 4386)

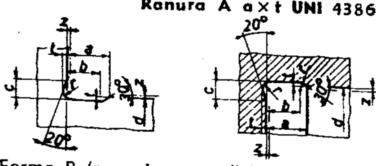
Ranuras de descarga para partes que se han de rectificar

Medidas en mm

Ranura interior   Ranura exterior



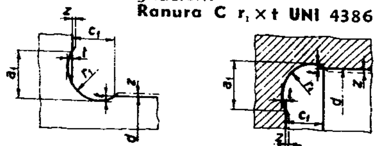
Forma A (para una superficie a rectificar y para empleo general).
Ejemplo de designación:
Ranura A a × t UNI 4386



Forma B (para dos superficies a rectificar en ángulo recto y para empleo general)
Ejemplo de designación:
Ranura B a × t UNI 4386



Forma C (para una superficie a rectificar y para partes sometidas a grandes esfuerzos alternativos).
Ejemplo de designación:
Ranura C r_1 × t UNI 4386

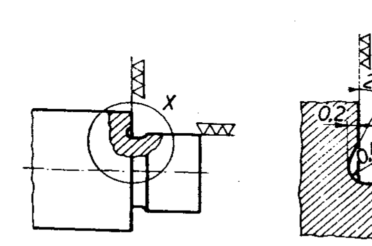


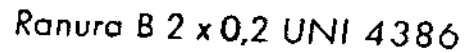
Forma D (para dos superficies a rectificar en ángulo recto y para partes sometidas a grandes esfuerzos alternativos).
Ejemplo de designación:
Ranura D r_1 × t UNI 4386

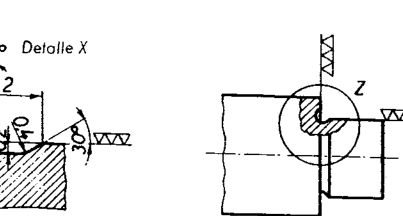
Indicación para la designación	Forma de la ranura	a	a_1 ~	t	Tolerancia de t	b	c ~	c_1 ~	r	r_1
A 1 × 0,1	A	1		0,1	+ 0,05	0,8	—		0,2	
A 2 × 0,2	A	2		0,2	+ 0,1	1,5	—		0,4	
A 4 × 0,3	A	4		0,3	+ 0,1	3,3	—		0,6	
A 6 × 0,4	A	6		0,4	+ 0,1	5,0	—		1	
B 1 × 0,1	B	1		0,1	+ 0,05	0,8	0,5		0,2	
B 2 × 0,2	B	2		0,2	+ 0,1	1,5	1,		0,4	
B 4 × 0,3	B	4		0,3	+ 0,1	3,3	1,5		0,6	
B 6 × 0,4	B	6		0,4	+ 0,1	5,0	2,3		1	
C 1 × 0,2	C		1,6	0,2	+ 0,1			—		1
C 1,6 × 0,3	C		2,5	0,3	+ 0,1			—		1,6
C 2,5 × 0,3	C		3,7	0,3	+ 0,1			—		2,5
D 1 × 0,2	D		1,6	0,2	+ 0,1			1,4		1
D 1,6 × 0,3	D		2,5	0,3	+ 0,1			2,2		1,6
D 2,5 × 0,3	D		3,7	0,3	+ 0,1			3,4		2,5

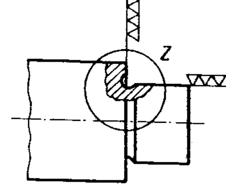
z = exceso de metal que se rectifica.
d = diámetro final de mecanizado.

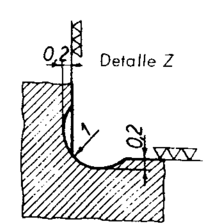
Ejemplos de aplicaciones acotadas







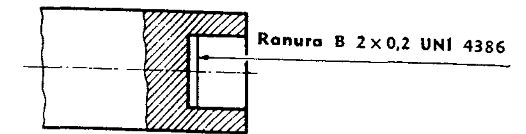




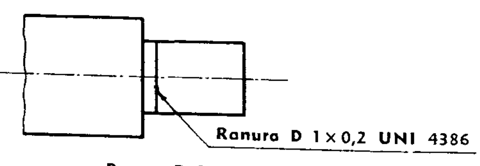
Ranura B 2 x 0,2 UNI 4386

Ranura D 1 x 0,2 UNI 4386

Ejemplos de representaciones esquemáticas



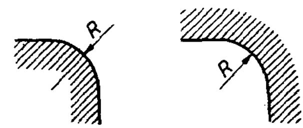
Ranura B 2 × 0,2 UNI 4386



Ranura D 1 × 0,2 UNI 4386

Tabla 197

Redondeados para aplicaciones mecánicas (De la tabla UNI 4429)



Medidas en mm

R = **0,2**; 0,3; **0,4**; 0,5; **0,6**; 0,8; **1**; 1,2; **1,6**; 2; **2,5**; 3; **4**; 5; **6**; 8; **10**; 12; **16**; 18; **20**; 22; **25**; 28; **32**; 36; **40**; 45; **50**; 56; **63**; 70; **80**; 90; **100**; 110; **125**; 140; **160**; 180; **200**.

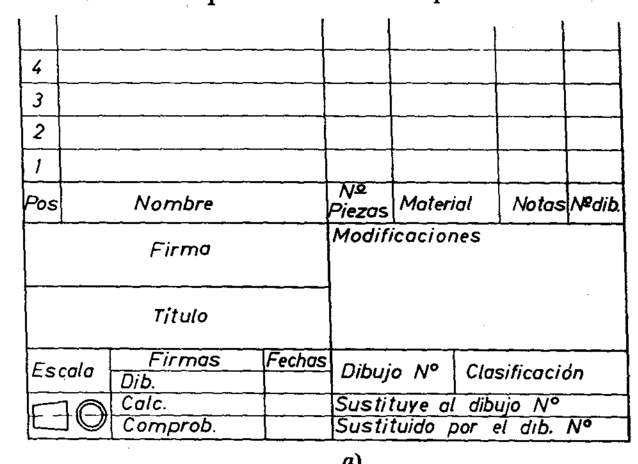
Al escoger los redondeados se han de preferir los valores impresos en negrita.

Capítulo XVII

DIBUJOS TÉCNICOS DE PIEZAS Y CONJUNTOS MECÁNICOS

En las páginas que siguen se han reproducido unos cuantos dibujos, cada uno con su título propio, en los que se han aplicado las normas y reglas expuestas en los capítulos anteriores.

No se han publicado normas para lo referente a los cajetines, excepto para la posición que han de ocupar en la hoja del dibujo, que ha de ser precisamente en el ángulo inferior derecho, como se puede ver en las figuras de la II, 44 a la II, 49 y como ya se explicó en el n.° 12 de esta parte. Las diferentes empresas adoptan el formato y la disposición de las indicaciones escritas que creen más conveniente. Reproducimos tres tipos escogidos entre los muchos adoptados. En todos los tipos, como se puede ver en dos de los ejemplos reproducidos, la numeración de las partes constituyentes y de los conjuntos se efectúa con números en orden progresivo, de abajo arriba.



a)

Firma	Dib.	Título				Dib. Nº
	Calc.					Fecha
Escala	Comprob.	Mat.	Trat.	Mod.	Piezas	

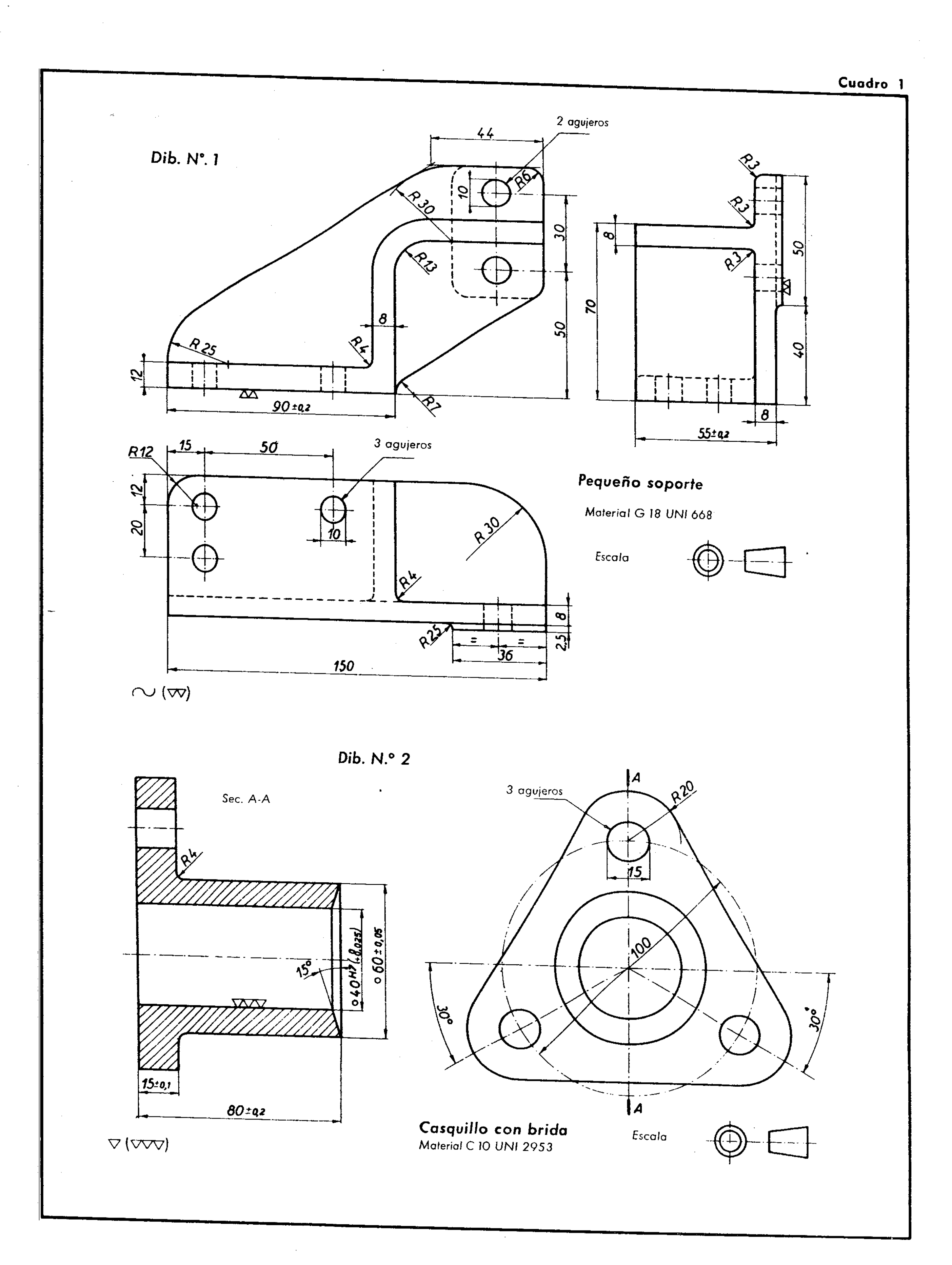
b)

Dib.	Sustituye al Nº	Firma
Comprob.	Sustituido por el Nº	
Fecha	Escala	
Modificaciones		Título
		Dibujo

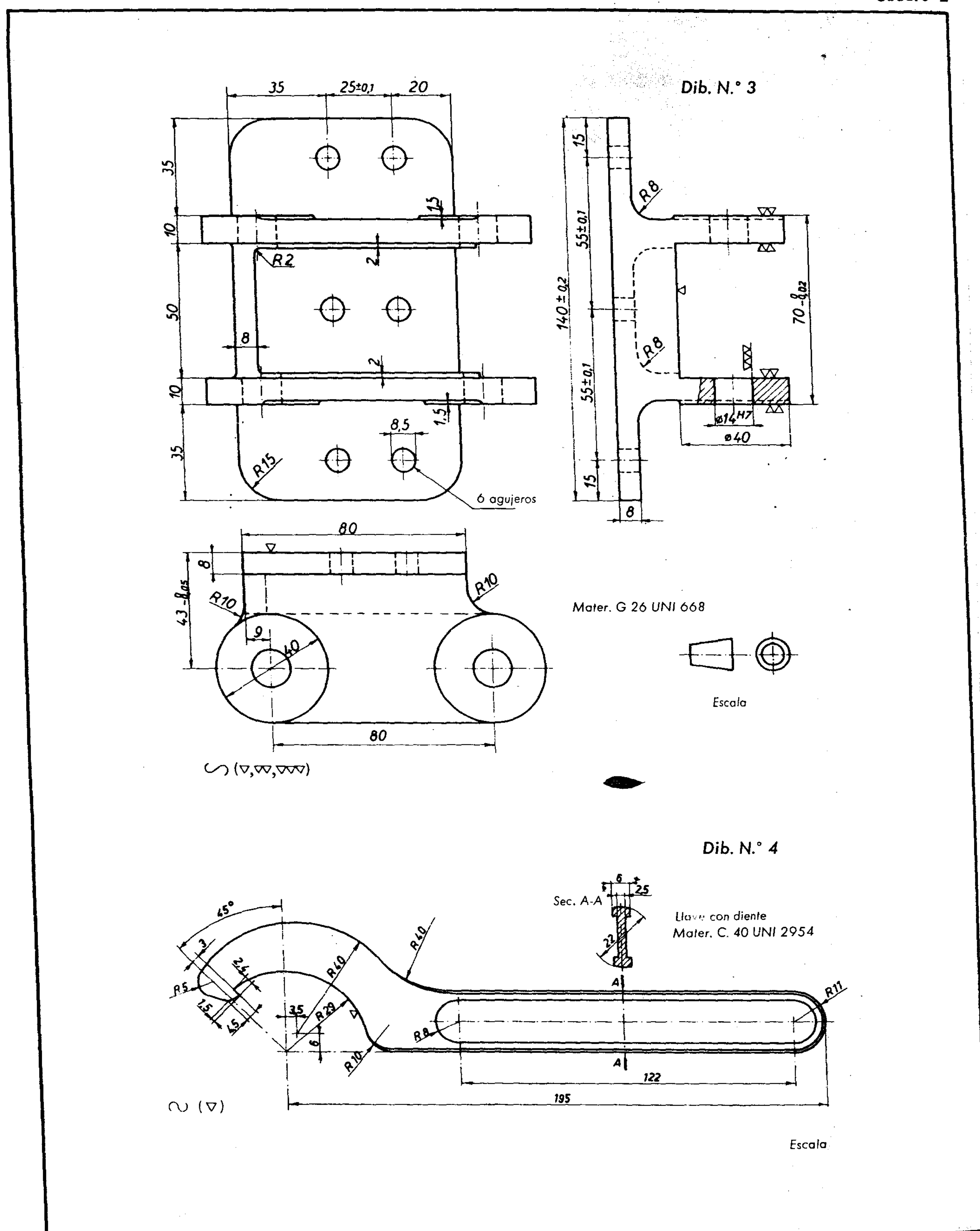
c)

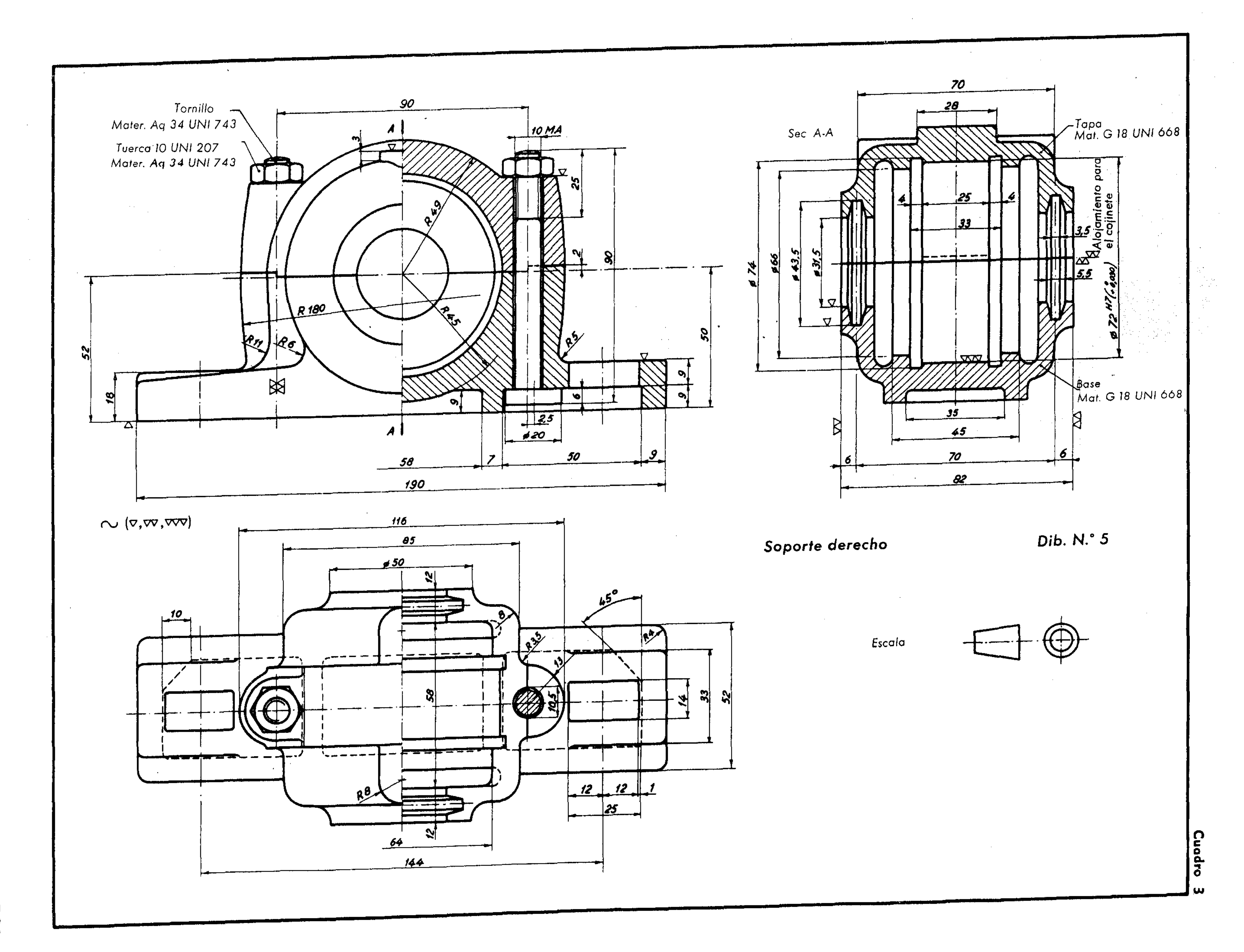
Fig. II, 599. *Ejemplo de disposición de los cajetines en los dibujos técnicos.* a) *para dibujos de conjunto;* b) c) *para piezas sueltas o dibujos de detalle.*

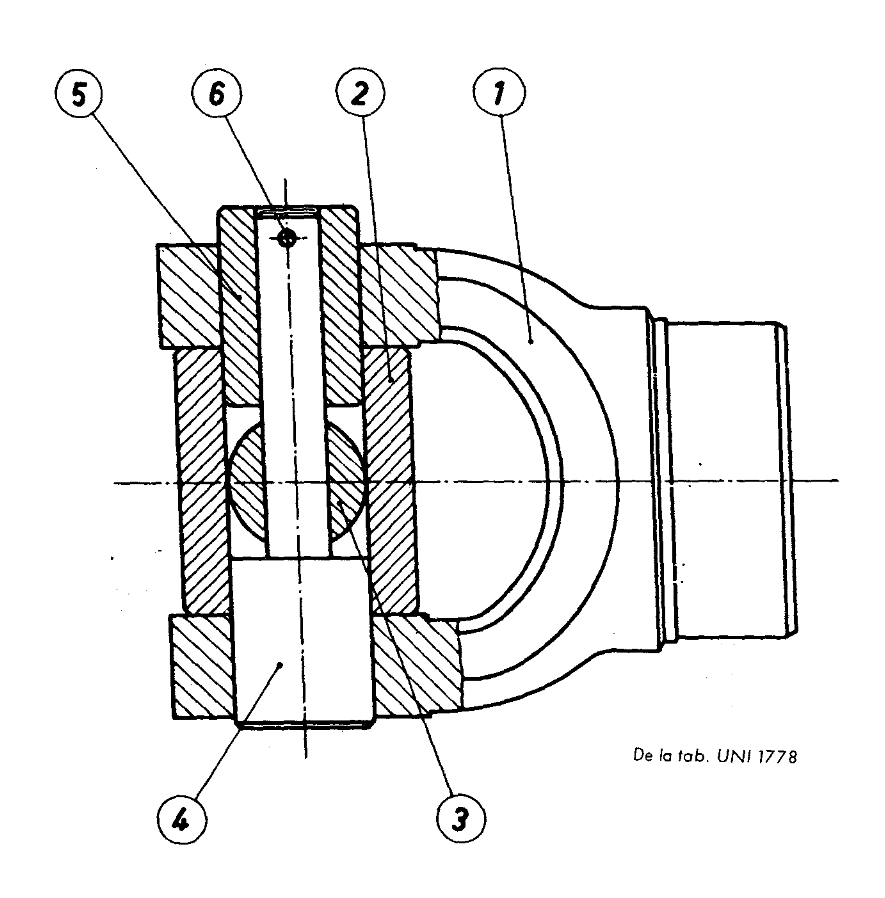
Cuadro 1



Dib. N°. 1
2 agujeros
44
R6
10
R30
30
R13
8
R4
R25
12
90±0,2
R7
50
R3
R3
8
R3
70
50
40
8
55±0,2
R12
15
50
3 agujeros
12
20
10
R30
R4
8
R25
36
2,5
150
Pequeño soporte
Material G 18 UNI 668
Escala
Dib. N.° 2
Sec. A-A
R4
15°
15±0,1
80±0,2
3 agujeros
R20
15
100
30°
30°
A
A
Casquillo con brida
Material C 10 UNI 2953
Escala


Dib. N.° 3
35
25±0,1
20
R2
R8
R15
R10
8,5
6 agujeros
Mater. G 26 UNI 668
Escala
Dib. N.° 4
Sec. A-A
Llave con diente
Mater. C. 40 UNI 2954
R40
R29
R11
R5
R8
R10
122
195
Escala


Tornillo
Mater. Aq 34 UNI 743
Tuerca 10 UNI 207
Mater. Aq 34 UNI 743
10 MA
Sec A-A
Tapa
Mat. G 18 UNI 668
Alojamiento para el cojinete
Base
Mat. G 18 UNI 668
∼ (▽,▽▽,▽▽▽)
Soporte derecho
Dib. N.° 5
Escala



6	Pasador	1	Aq 50 UNI 743	A 4x35 UNI 1336
5	Manguito	1	OT S 58 UNI 2012	
4	Eje pasante	1	OT S 58 UNI 2012	
3	Eje taladrado	1	OT S 58 UNI 2012	
2	Cruceta	1	Aq 42 UNI 673	
1	Horquilla	1	Aq 42 UNI 673	
Pos.	Nombre	Nº piezas	Material	Notas
Fecha	UNION CARDAN		Escala / Dib. Nº 6	

Detalles Dib. N.º 6

(1)

Sec. A-A

De la tab. *UNI 1877*

(5)

De la tab. *UNI 1885*

(3)

De la tab. *UNI 1886*

De la tab. *UNI 1884*

(2)

(4)

Se taladra en el montaje

De la tab. *UNI 1887*

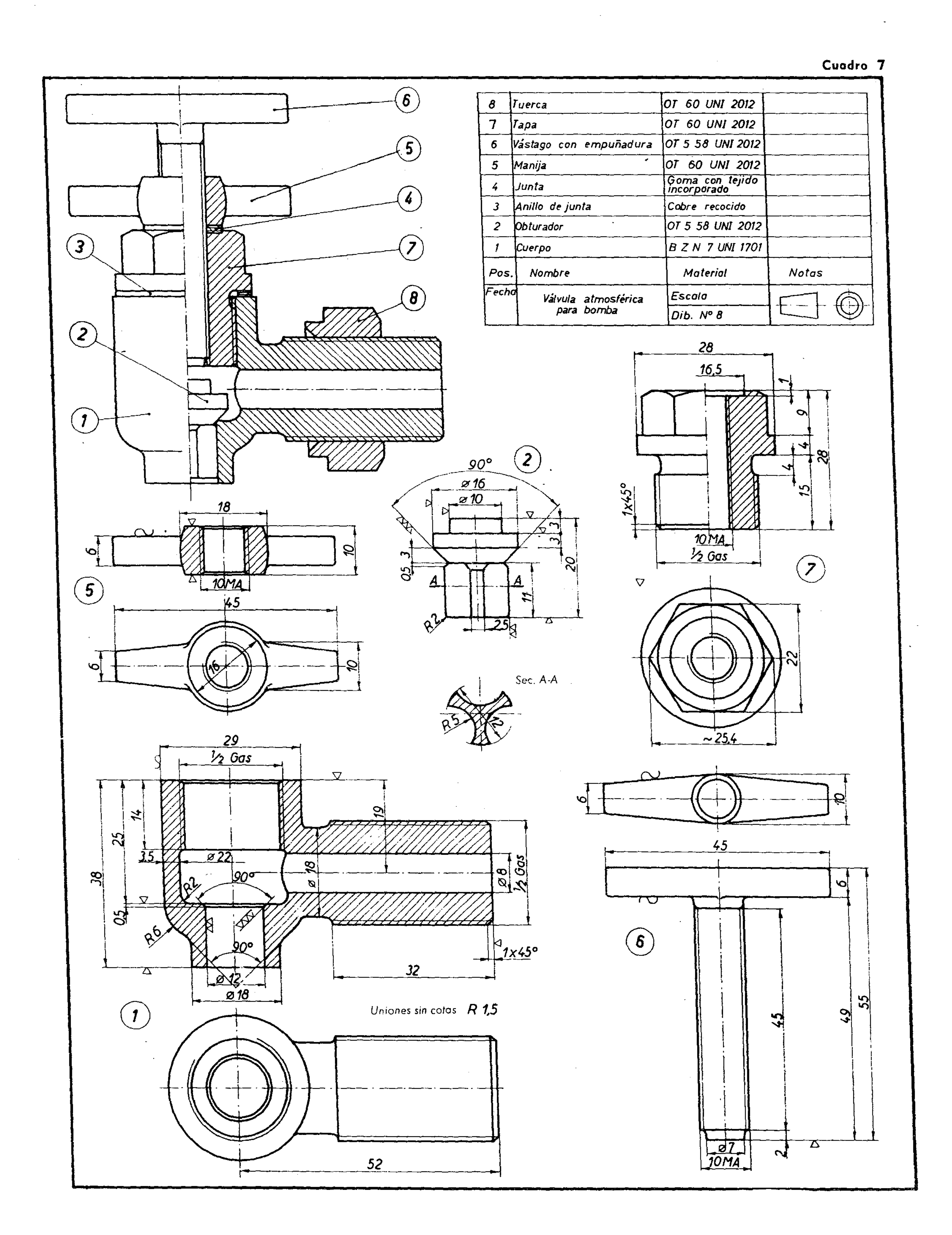
Sólo se han copiado las medidas unificadas en las tablas correspondientes



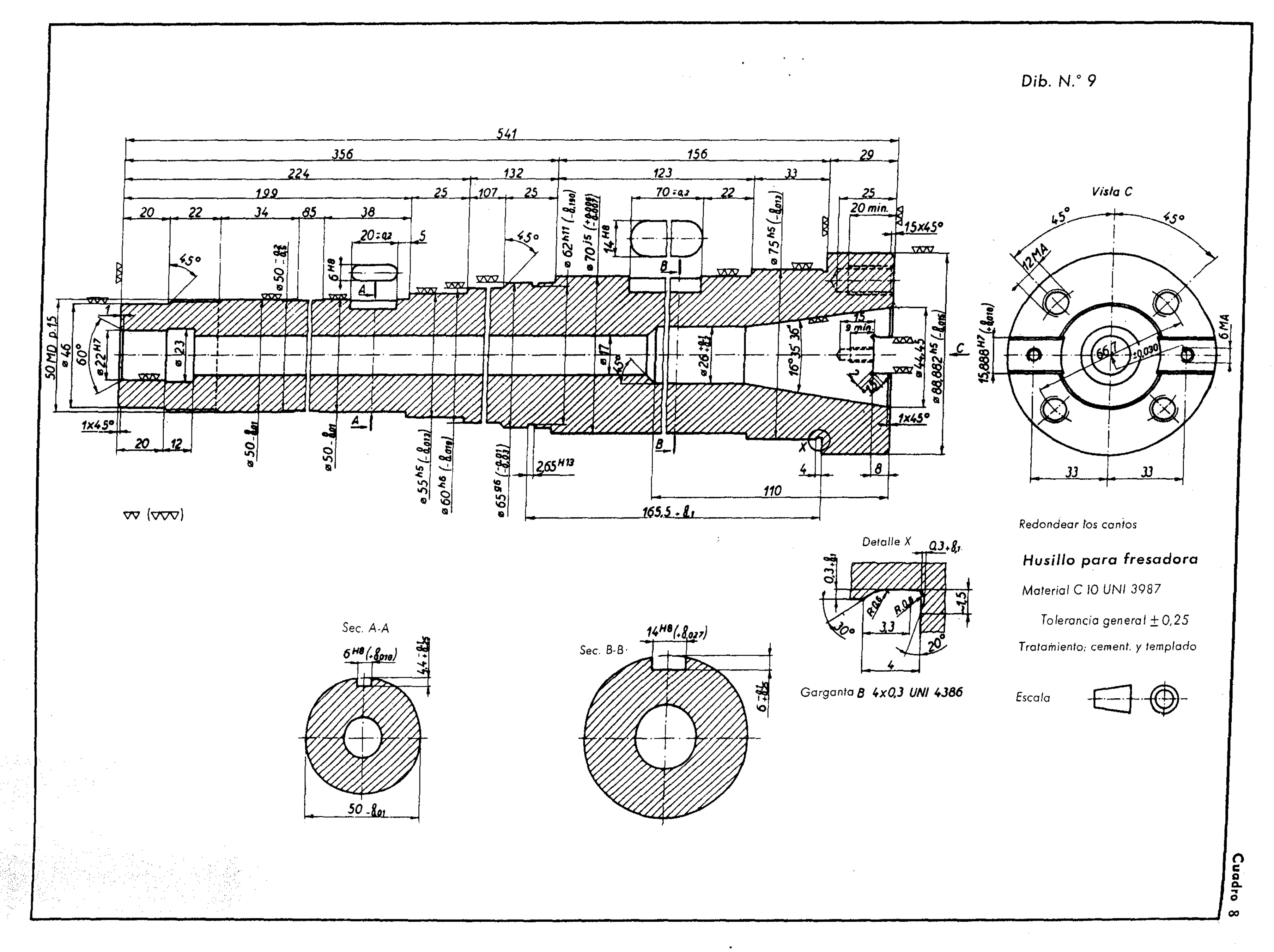
Gancho articulado de arrastre para camiones y remolques. Tipo medio

Dib. N.° 7

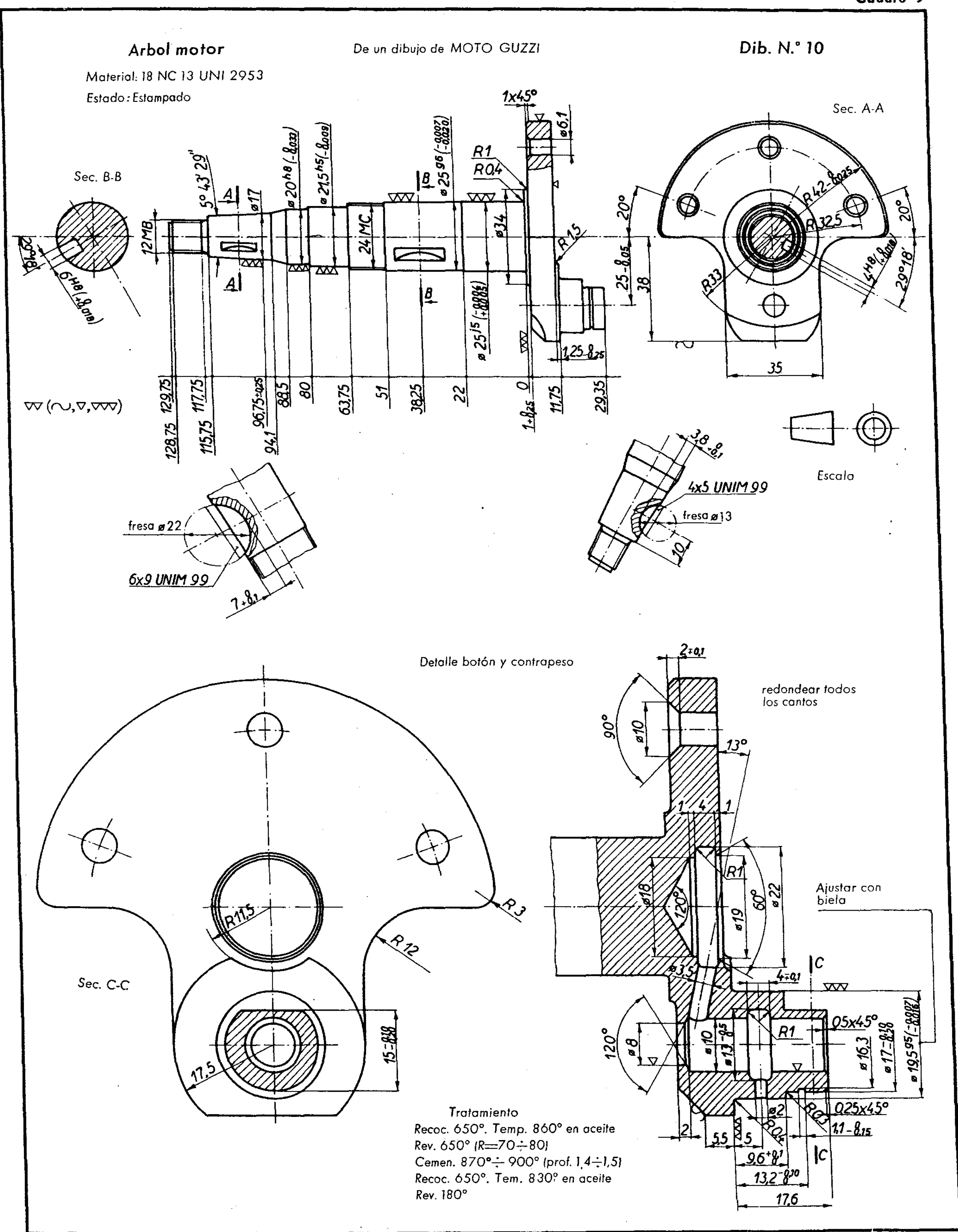
Sólo se han copiado las cotas de las medidas unificadas en la tab. UNI 2004

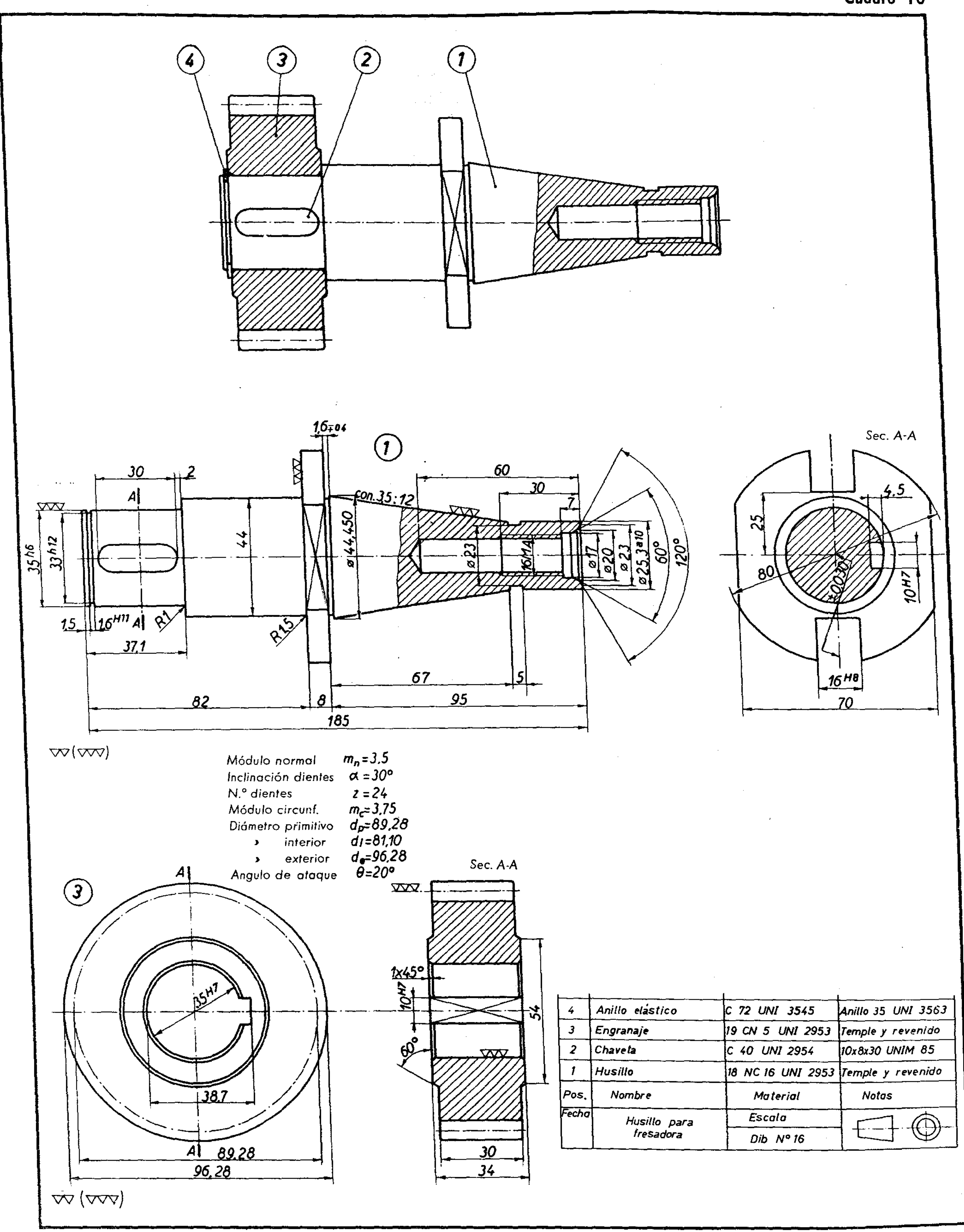


Pos.	Nombre	Material	Notas
8	Tuerca	OT 60 UNI 2012	
7	Tapa	OT 60 UNI 2012	
6	Vástago con empuñadura	OT 5 58 UNI 2012	
5	Manija	OT 60 UNI 2012	
4	Junta	Goma con tejido incorporado	
3	Anillo de junta	Cobre recocido	
2	Obturador	OT 5 58 UNI 2012	
1	Cuerpo	B Z N 7 UNI 1701	
Fecha	Válvula atmosférica para bomba	Escala / Dib. Nº 8	

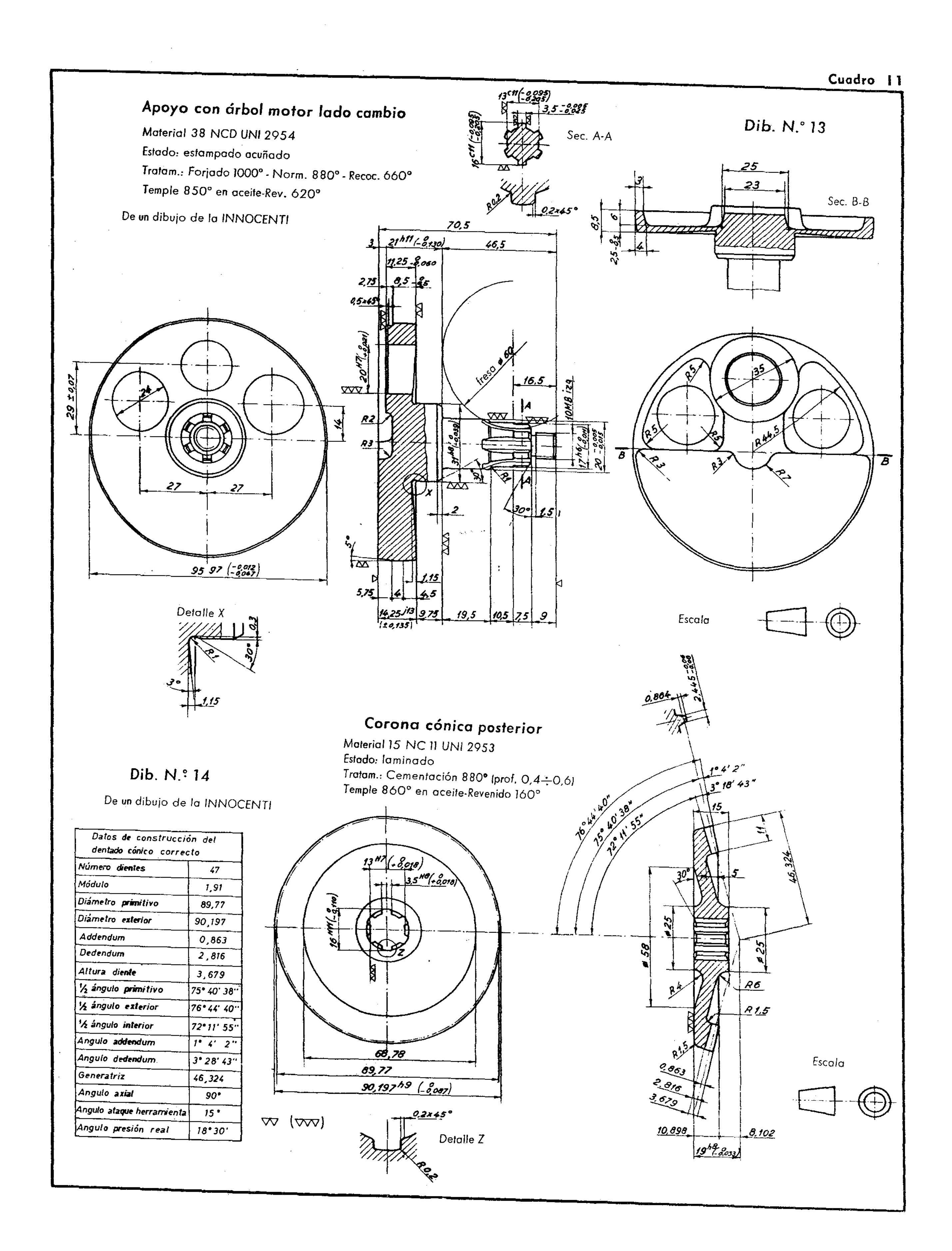

Dib. N.° 9
Vista C
Sec. A-A
Sec. B-B
Detalle X
Garganta B 4x0,3 UNI 4386
Redondear los cantos
Husillo para fresadora
Material C 10 UNI 3987
Tolerancia general ± 0,25
Tratamiento: cement. y templado
Escala

Cuadro 8


Arbol motor
De un dibujo de MOTO GUZZI
Dib. N.° 10
Material: 18 NC 13 UNI 2953
Estado: Estampado
Sec. B-B
Sec. A-A
1x45°
R1
R0,4
R15
R42
R32,5
R33
20°
29°18'
25
38
35
12MB
24MC
ø17
ø34
ø6,1
5°43'29"
128,75
129,75
117,75
115,75
96,75
94,1
88,5
80
63,75
51
38,25
22
0
11,75
29,35
Escala
fresa ø22
6x9 UNIM 99
4x5 UNIM 99
fresa ø13
Detalle botón y contrapeso
redondear todos los cantos
Ajustar con biela
Sec. C-C
R11,5
R3
R12
17,5
90°
ø10
13°
R1
ø18
120°
ø19
60°
ø22
ø3,5
120°
ø8
ø16,3
R1
0,5x45°
0,25x45°
ø2
R0,4
R0,1
5,5
5
17,6
Tratamiento
Recoc. 650°. Temp. 860° en aceite
Rev. 650° (R=70÷80)
Cemen. 870°÷900° (prof. 1,4÷1,5)
Recoc. 650°. Tem. 830° en aceite
Rev. 180°



Pos.	Nombre	Material	Notas
4	Anillo elástico	C 72 UNI 3545	Anillo 35 UNI 3563
3	Engranaje	19 CN 5 UNI 2953	Temple y revenido
2	Chaveta	C 40 UNI 2954	10x8x30 UNIM 85
1	Husillo	18 NC 16 UNI 2953	Temple y revenido
Fecha	Husillo para fresadora	Escala	
		Dib N° 16	



Datos de construcción del dentado cónico correcto	
Número dientes	47
Módulo	1,91
Diámetro primitivo	89,77
Diámetro exterior	90,197
Addendum	0,863
Dedendum	2,816
Altura diente	3,679
½ ángulo primitivo	75° 40' 38"
½ ángulo exterior	76° 44' 40"
½ ángulo interior	72° 11' 55"
Angulo addendum	1° 4' 2"
Angulo dedendum	3° 28' 43"
Generatriz	46,324
Angulo axial	90°
Angulo ataque herramienta	15°
Angulo presión real	18° 30'



Arbol engranajes cambio

Dib. N.° 15

Material 15 NC 11 UNI 2953
Trat. : Temple 860° en aceite-Rev 180°
De un dibujo de la S. p. A. PIAGGIO & C.

Otra solución

Sec. B-B

canto achaflanado

Dentado especial torneado

Dientes	z=27
Módulo	m=0,7
Ø primitivo	Dp=18,9 f9
Ø exterior	De=19,9 h10 (- 0,084)
Ø interior	Di=17,8
Angulo de ataque	θ = 40°

Detalle

Se puede también admitir la ejecución de los dientes con fresa madre y sin garganta de descarga.

Cementar

Sec. A-A

Esta sección se puede revenir en plomo fundido hasta obtener una carga de rotura mínima de 100 Kg./mm²

redondear

Cementar

Sec. C-C

fresa ø 90

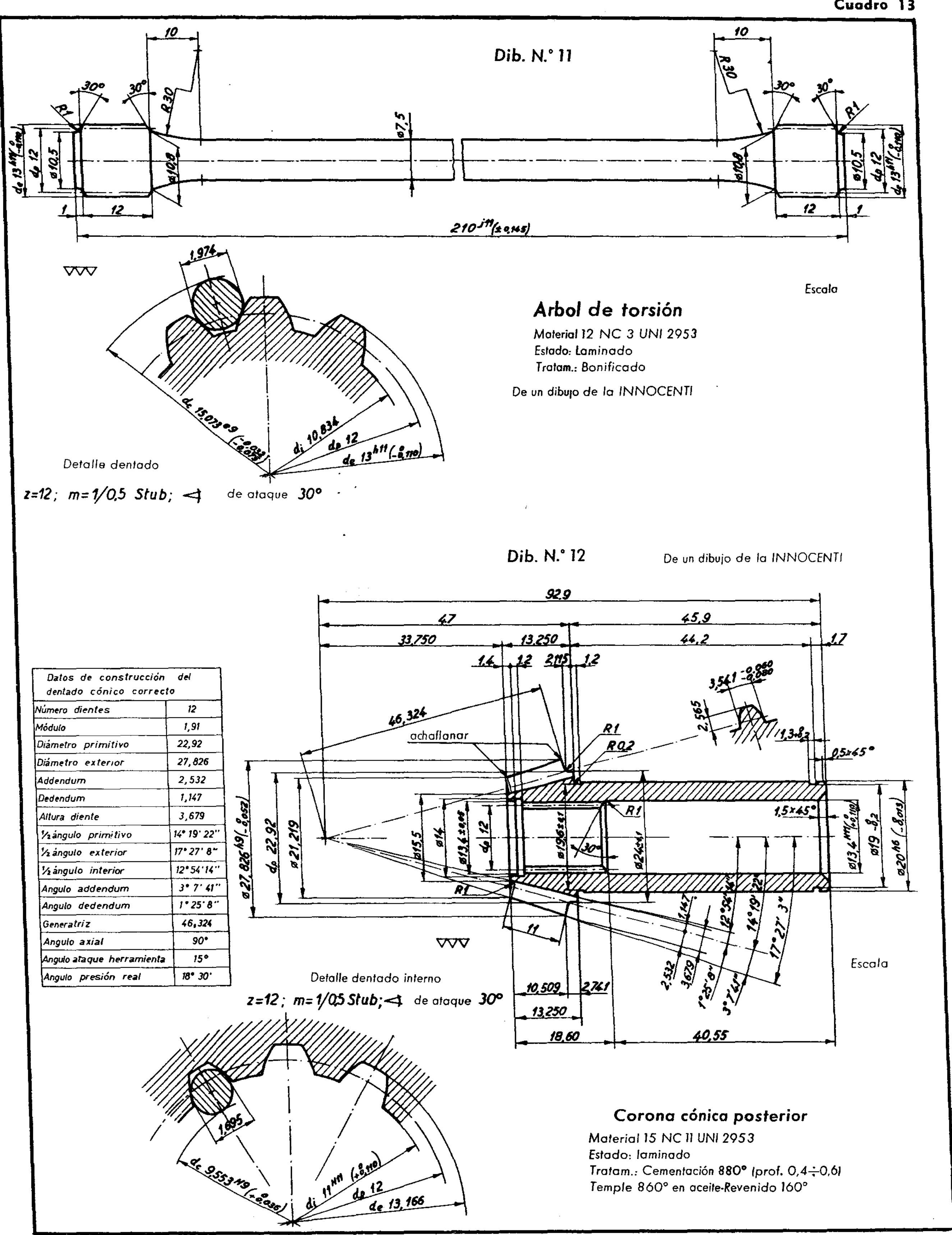
redondear

Perfil del cortador

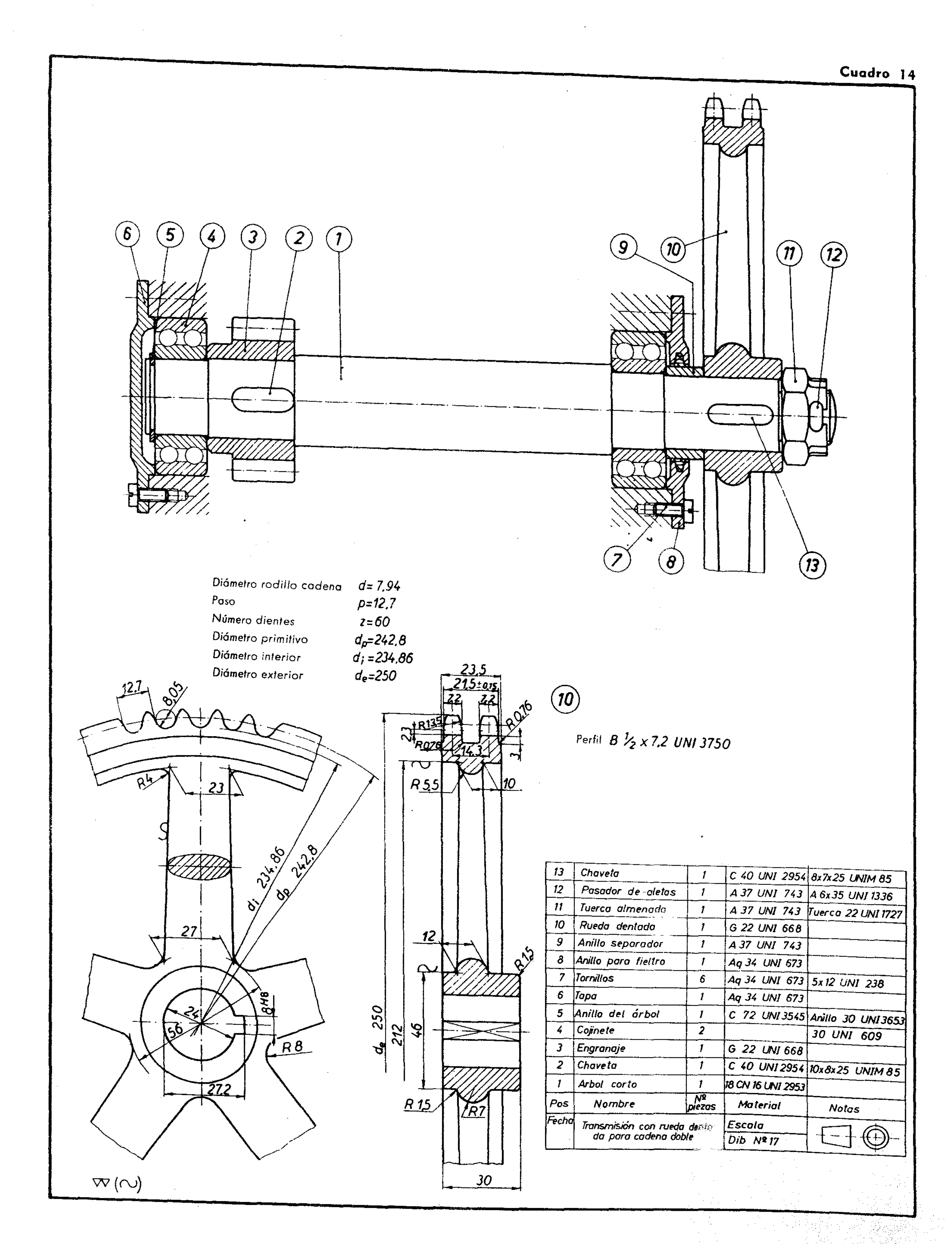
Escala

Cepillado que se ha de ejecutar sobre una sola ranura

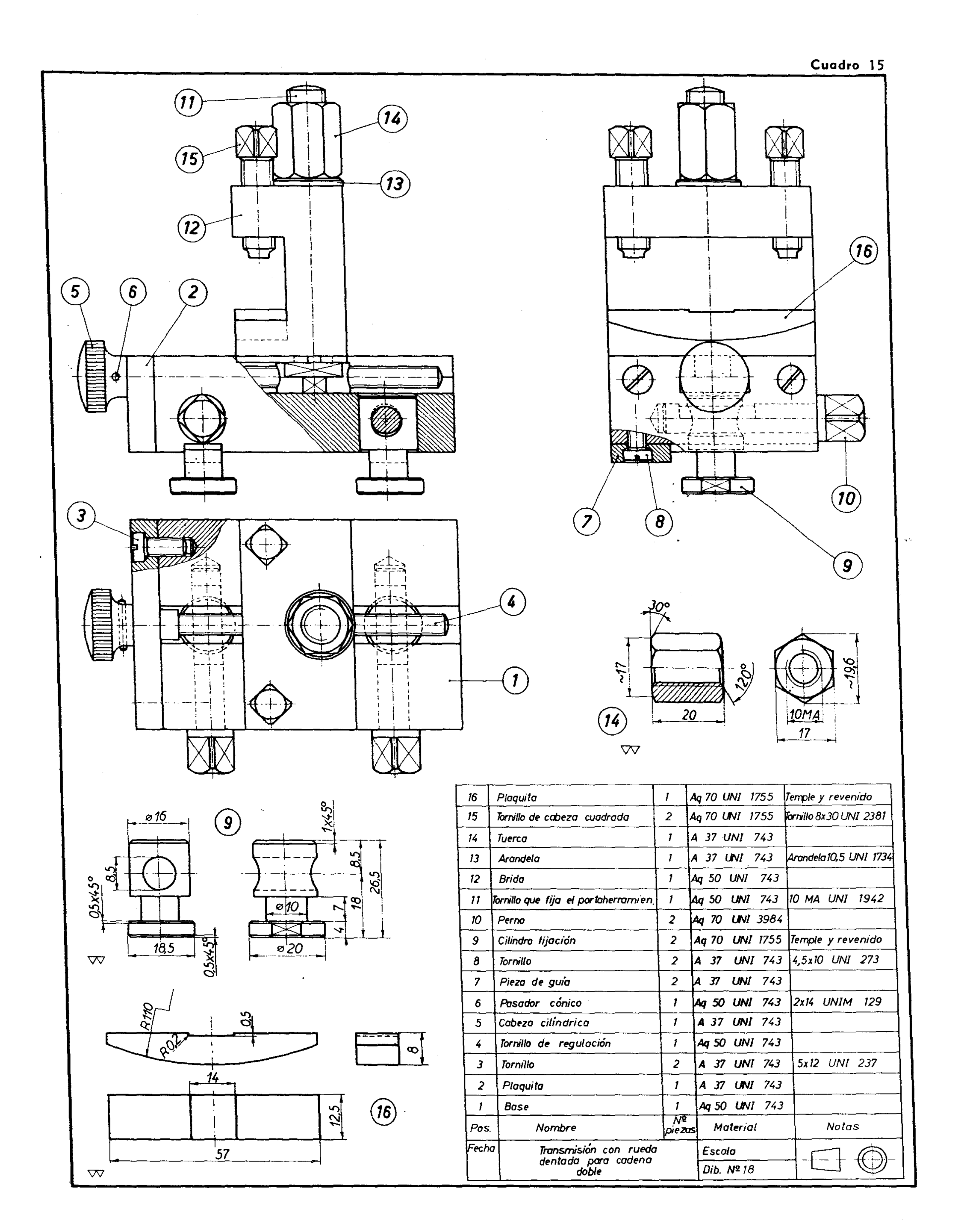
El recorrido máximo del indicador, al dar la vuelta completa sobre los diámetros A y B, no ha de ser superior a 0'05.



Datos de construcción del dentado cónico correcto	
Número dientes	12
Módulo	1,91
Diámetro primitivo	22,92
Diámetro exterior	27,826
Addendum	2,532
Dedendum	1,147
Altura diente	3,679
½ ángulo primitivo	14° 19' 22"
½ ángulo exterior	17° 27' 8"
½ ángulo interior	12° 54' 14"
Angulo addendum	3° 7' 41"
Angulo dedendum	1° 25' 8"
Generatriz	46,324
Angulo axial	90°
Angulo ataque herramienta	15°
Angulo presión real	18° 30'

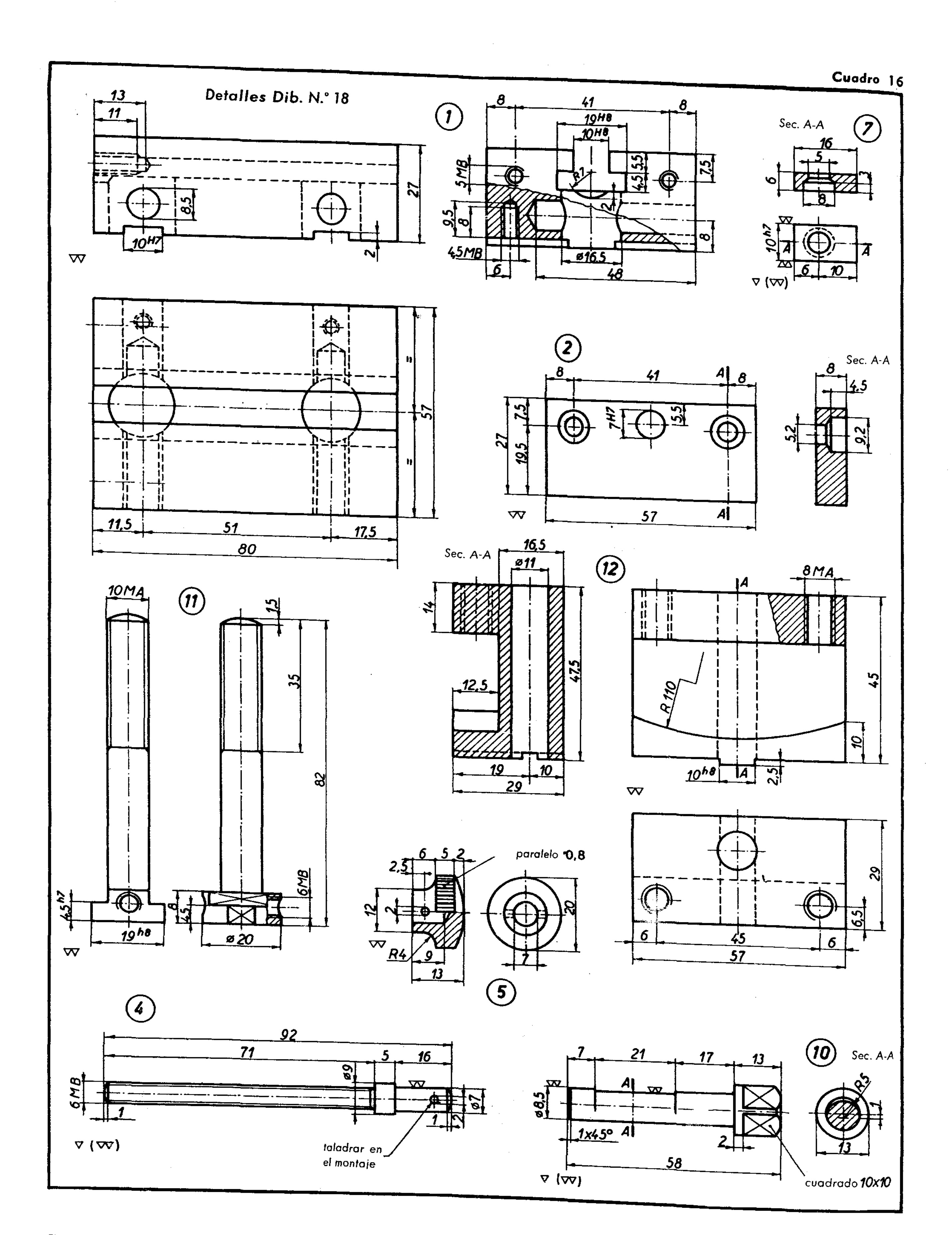


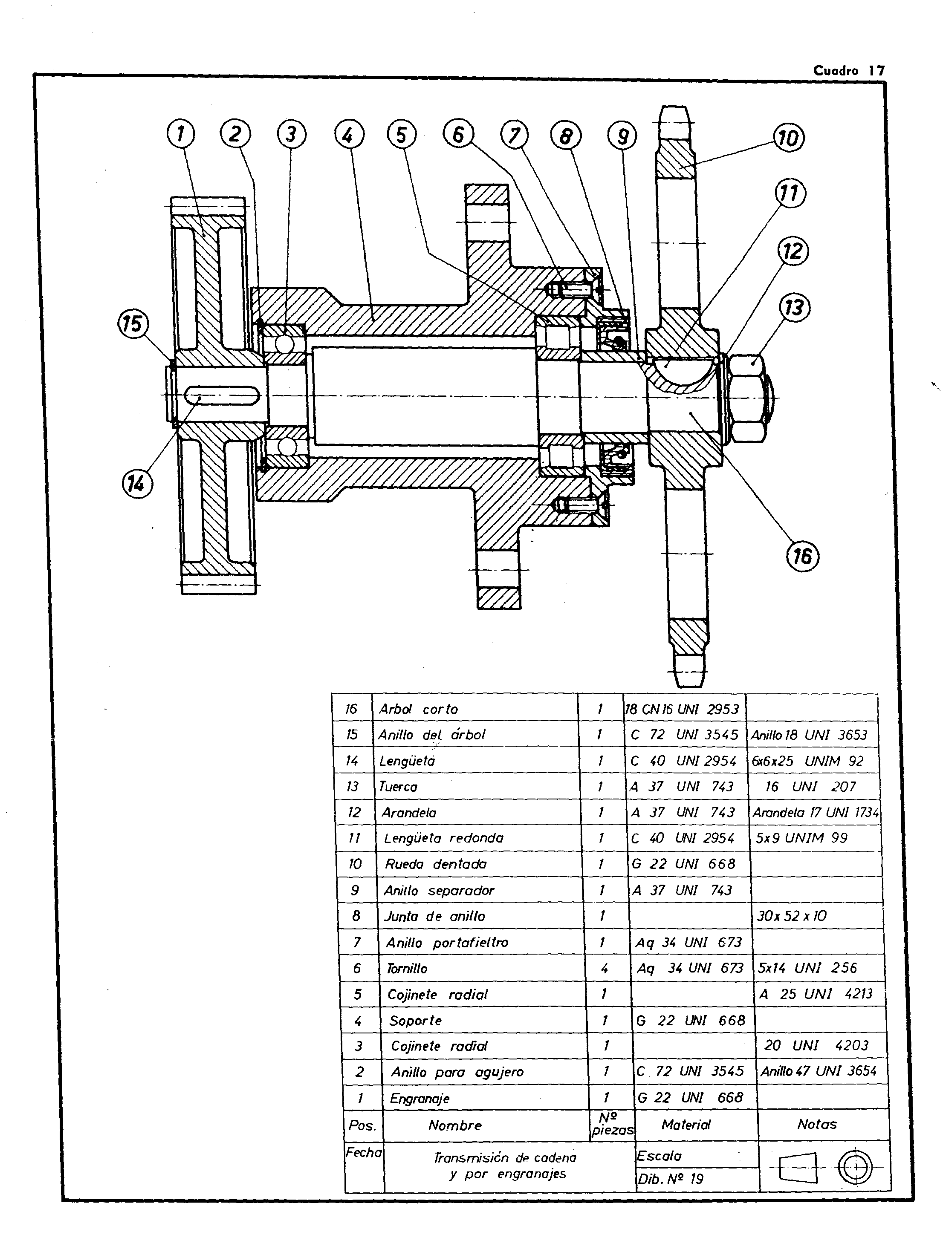
Pos	Nombre	Nº piezas	Material	Notas
13	Chaveta	1	C 40 UNI 2954	8x7x25 UNIM 85
12	Pasador de aletas	1	A 37 UNI 743	A 6x35 UNI 1336
11	Tuerca almenada	1	A 37 UNI 743	Tuerca 22 UNI 1727
10	Rueda dentado	1	G 22 UNI 668	
9	Anillo separador	1	A 37 UNI 743	
8	Anillo para fieltro	1	Aq 34 UNI 673	
7	Tornillos	6	Aq 34 UNI 673	5x12 UNI 238
6	Tapa	1	Aq 34 UNI 673	
5	Anillo del árbol	1	C 72 UNI 3545	Anillo 30 UNI 3653
4	Cojinete	2		30 UNI 609
3	Engranaje	1	G 22 UNI 668	
2	Chaveta	1	C 40 UNI 2954	10x8x25 UNIM 85
1	Arbol corto	1	18 CN 16 UNI 2953	
Fecha	Transmisión con rueda dentada para cadena doble		Escala / Dib Nº 17	



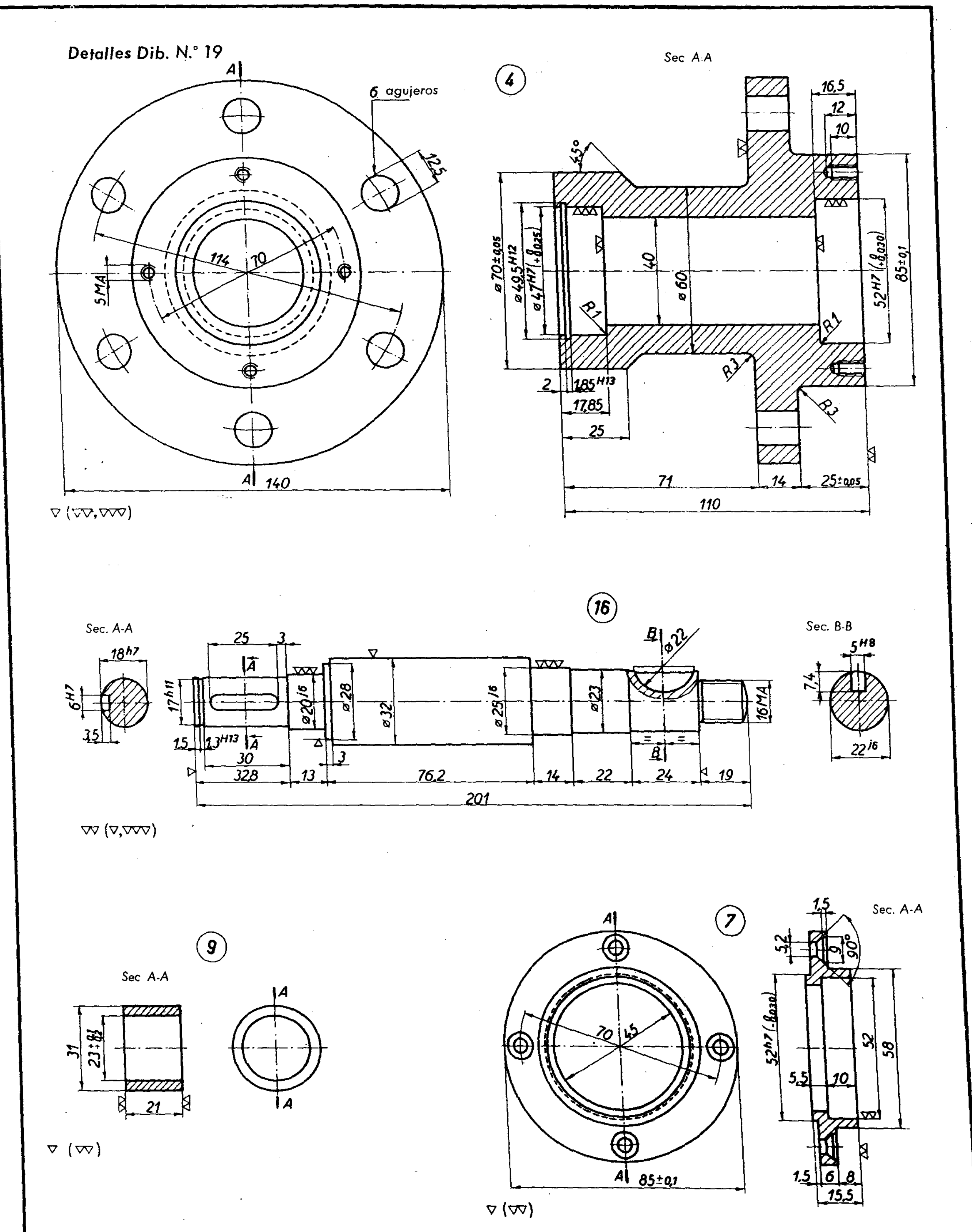
Pos.	Nombre	Nº piezas	Material	Notas
16	Plaquita	1	Aq 70 UNI 1755	Temple y revenido
15	Tornillo de cabeza cuadrada	2	Aq 70 UNI 1755	Tornillo 8x30 UNI 2381
14	Tuerca	1	A 37 UNI 743	
13	Arandela	1	A 37 UNI 743	Arandela 10,5 UNI 1734
12	Brida	1	Aq 50 UNI 743	
11	Tornillo que fija el portaherramien.	1	Aq 50 UNI 743	10 MA UNI 1942
10	Perno	2	Aq 70 UNI 3984	
9	Cilindro fijación	2	Aq 70 UNI 1755	Temple y revenido
8	Tornillo	2	A 37 UNI 743	4,5x10 UNI 273
7	Pieza de guía	2	A 37 UNI 743	
6	Pasador cónico	1	Aq 50 UNI 743	2x14 UNIM 129
5	Cabeza cilíndrica	1	A 37 UNI 743	
4	Tornillo de regulación	1	Aq 50 UNI 743	
3	Tornillo	2	A 37 UNI 743	5x12 UNI 237
2	Plaquita	1	A 37 UNI 743	
1	Base	1	Aq 50 UNI 743	

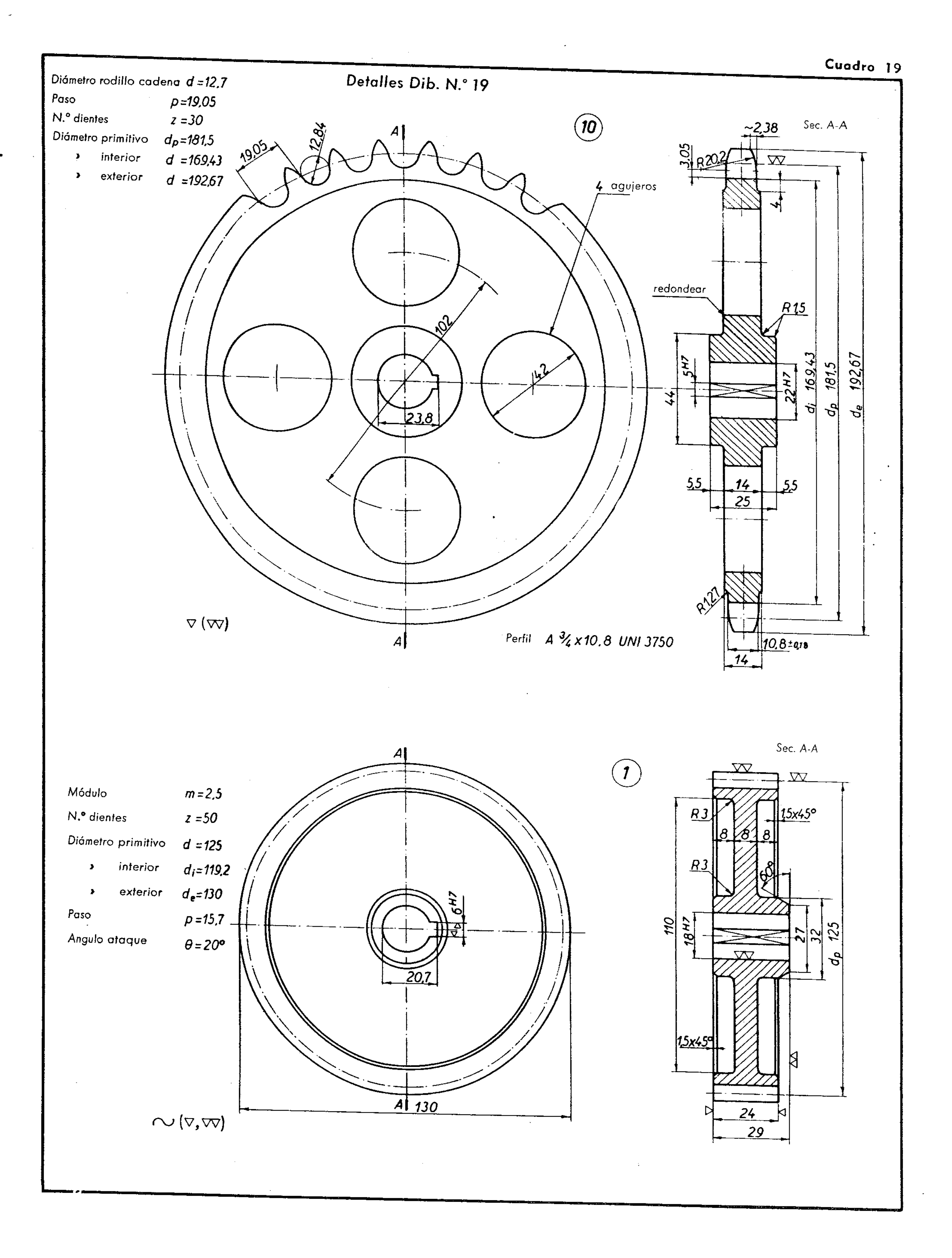
Fecha	Transmisión con rueda dentada para cadena doble	Escala Dib. Nº 18


Cuadro 16
Detalles Dib. N.° 18
Sec. A-A
paralelo ±0,8
taladrar en el montaje
cuadrado 10x10
1x45°
R110
R4
R5
10H7
10H8
19H8
10h7
10h8
19h8
4,5h7
7H7
5MB
4,5MB
6MB
8MA
10MA
ø16,5
ø11
ø20
ø9
ø7
ø8,5
▽ (▽▽)

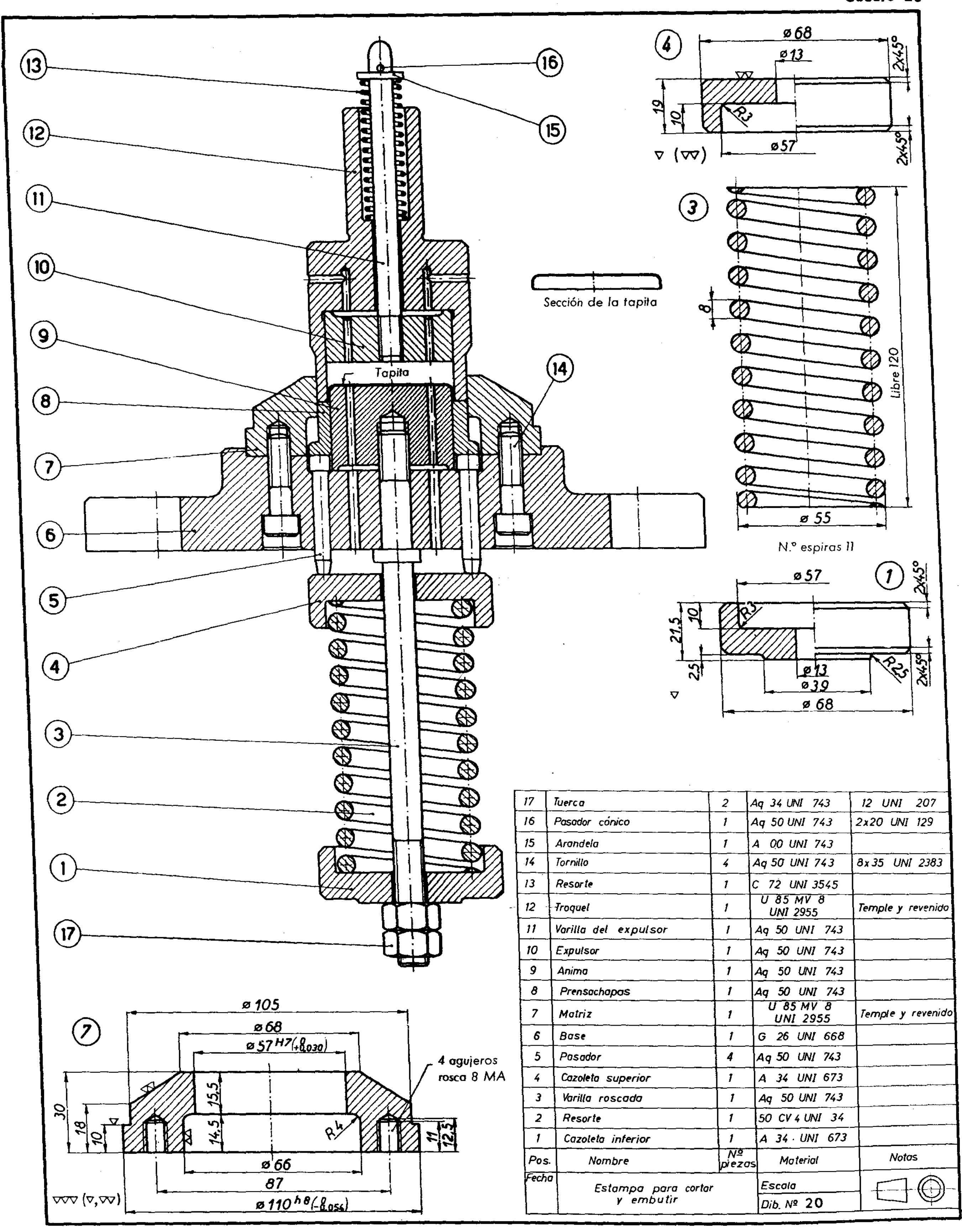


16	Arbol corto	1	18 CN 16 UNI 2953	
15	Anillo del árbol	1	C 72 UNI 3545	Anillo 18 UNI 3653
14	Lengüeta	1	C 40 UNI 2954	6x6x25 UNIM 92
13	Tuerca	1	A 37 UNI 743	16 UNI 207
12	Arandela	1	A 37 UNI 743	Arandela 17 UNI 1734
11	Lengüeta redonda	1	C 40 UNI 2954	5x9 UNIM 99
10	Rueda dentada	1	G 22 UNI 668	
9	Anillo separador	1	A 37 UNI 743	
8	Junta de anillo	1		30 x 52 x 10
7	Anillo portafieltro	1	Aq 34 UNI 673	
6	Tornillo	4	Aq 34 UNI 673	5x14 UNI 256
5	Cojinete radial	1		A 25 UNI 4213
4	Soporte	1	G 22 UNI 668	
3	Cojinete radial	1		20 UNI 4203
2	Anillo para agujero	1	C 72 UNI 3545	Anillo 47 UNI 3654
1	Engranaje	1	G 22 UNI 668	
Pos.	Nombre	Nº piezas	Material	Notas
Fecha	Transmisión de cadena y por engranajes		Escala Dib. Nº 19	

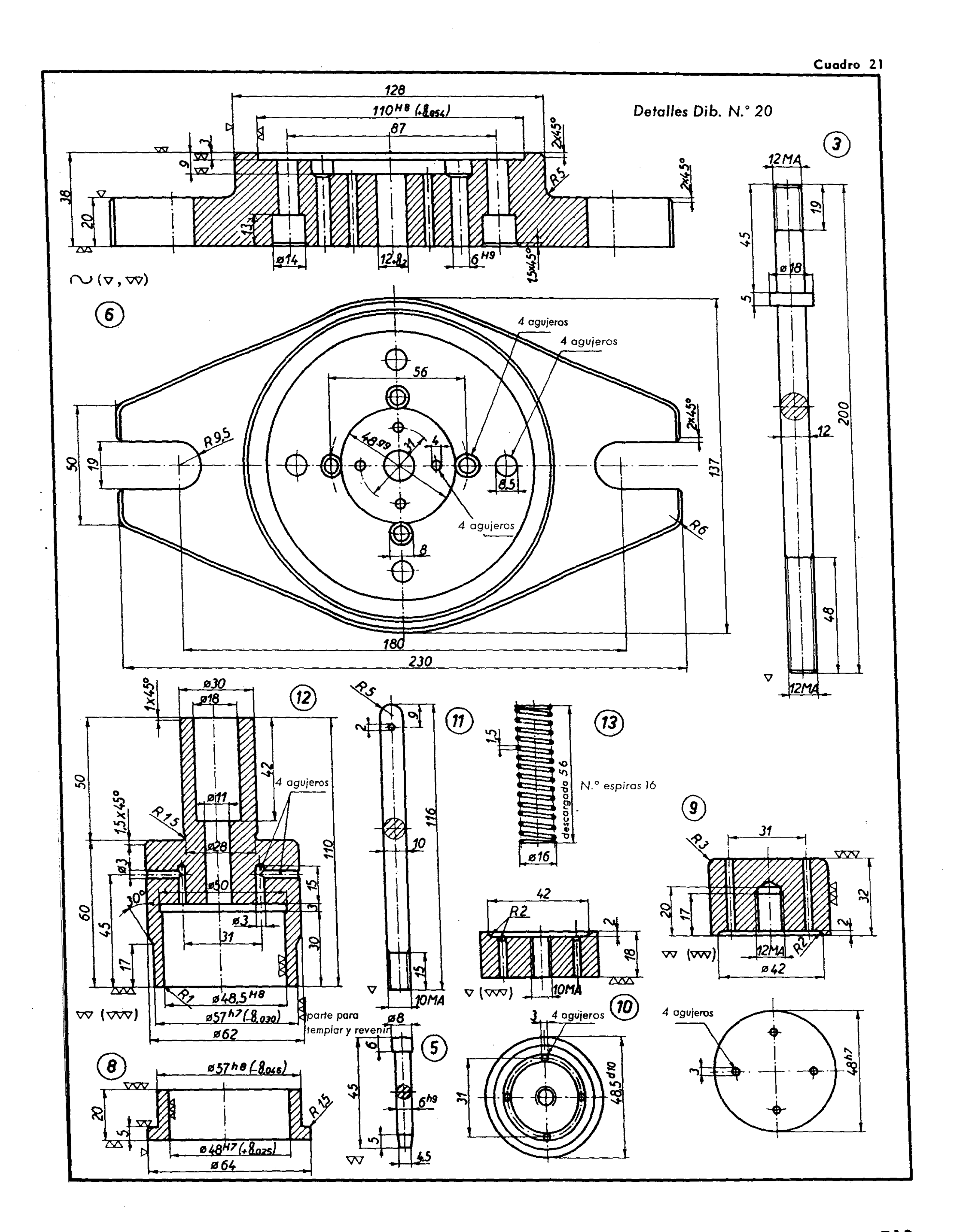

Detalles Dib. N.° 19
6 agujeros
12,5
114
70
5MA
A
140
▽ (▽▽,▽▽▽)
4
Sec A-A
45°
16,5
12
10
ø 70±0,05
ø 49,5H12
ø 47H7
40
ø 60
R1
52H7
85±0,1
R3
2
1,85H13
17,85
25
71
14
25±0,05
110
16
Sec. A-A
18h7
6H7
17h11
3,5
25
3
ø 20j6
ø 28
ø 32
ø 25j6
ø 23
ø 22
B
16MA
1,5
1,3H13
30
32,8
13
76,2
14
22
24
19
201
Sec. B-B
5H8
7,4
22j6
▽▽ (▽,▽▽▽)
9
Sec A-A
31
21
▽ (▽▽)
7
45
85±0,1
Sec. A-A
1,5
5,2
9
90°
52h7
52
58
5,5
10
6
8
15,5
▽ (▽▽)


Diámetro rodillo cadena d = 12,7
Paso p = 19,05
N.° dientes z = 30
Diámetro primitivo dp = 181,5
» interior d = 169,43
» exterior d = 192,67
Detalles Dib. N.° 19
10
4 agujeros
Sec. A-A
redondear
R 1,5
R 20,2
~2,38
3,05
R 12,7
102
42
23,8
5,5
14
25
44
5H7
22H7
di 169,43
dp 181,5
de 192,67
10,8±0,18
Perfil A ¾ x 10,8 UNI 3750
▽ (▽▽)
Módulo m = 2,5
N.° dientes z = 50
Diámetro primitivo d = 125
» interior di = 119,2
» exterior de = 130
Paso p = 15,7
Angulo ataque θ = 20°
1
R3
1,5x45°
8
110
18H7
27
32
dp 125
6H7
20,7
130
24
29
∼ (▽, ▽▽)

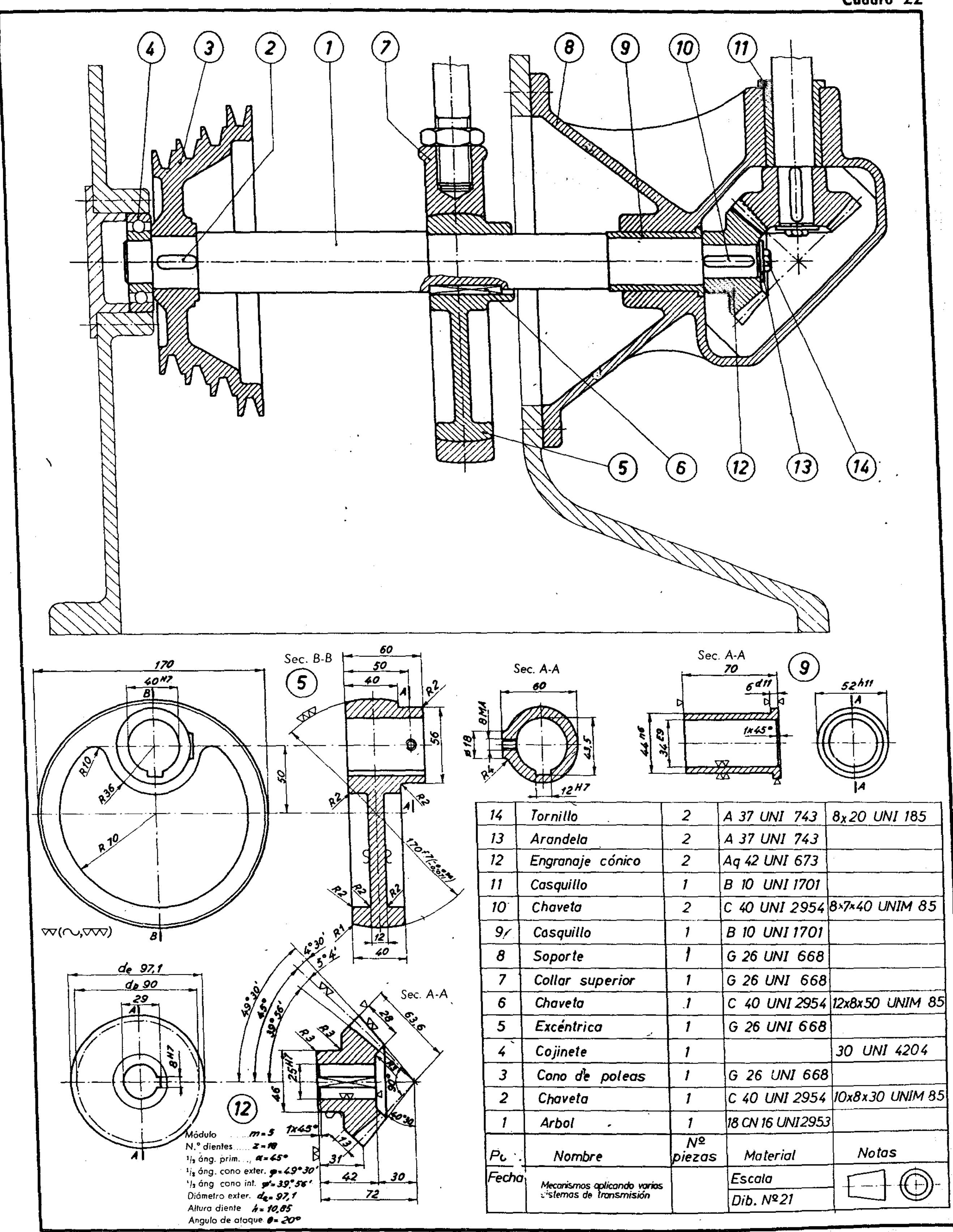
Cuadro 20



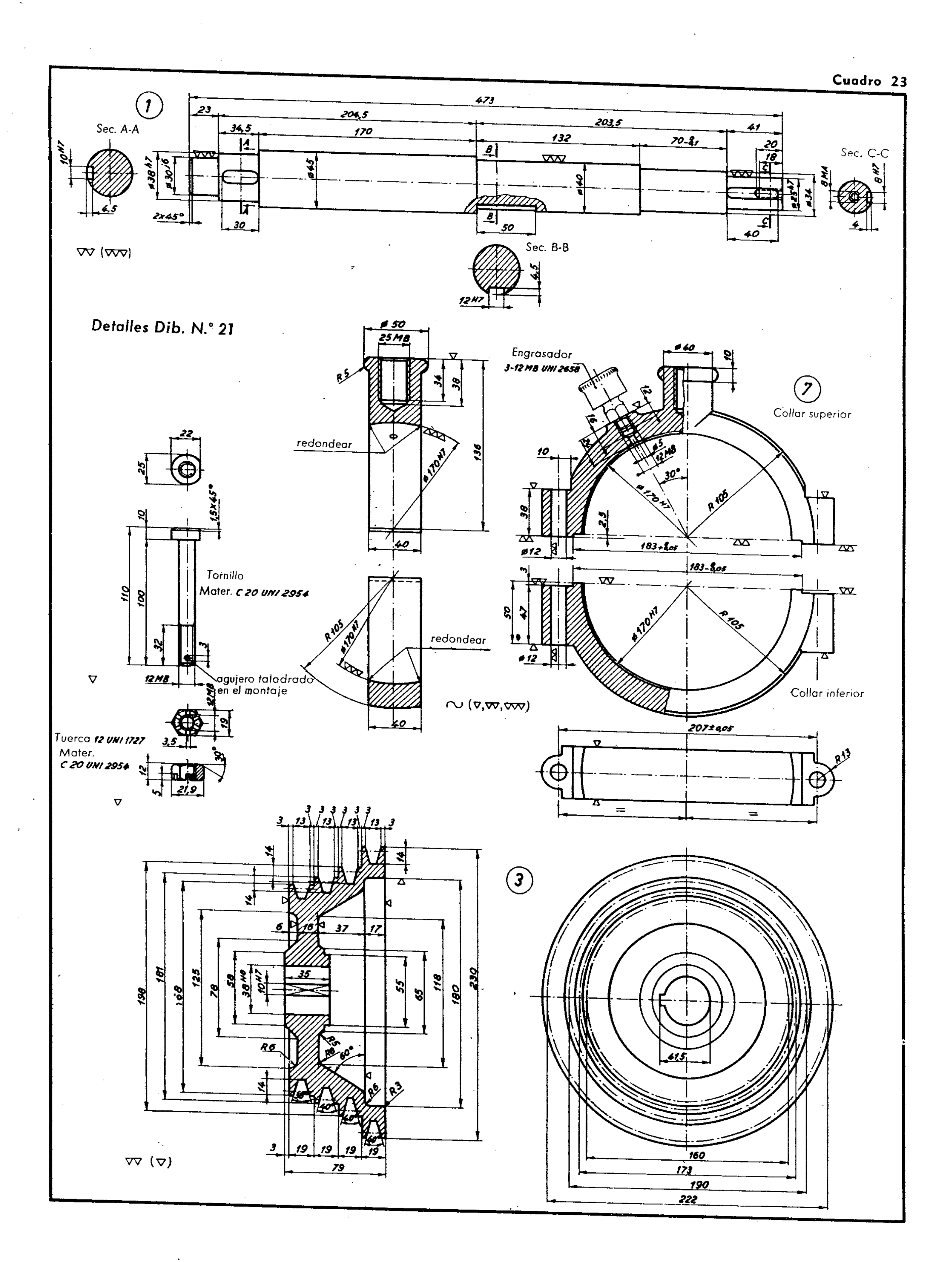
Pos.	Nombre	Nº piezas	Material	Notas
17	Tuerca	2	Aq 34 UNI 743	12 UNI 207
16	Pasador cónico	1	Aq 50 UNI 743	2x20 UNI 129
15	Arandela	1	A 00 UNI 743	
14	Tornillo	4	Aq 50 UNI 743	8x35 UNI 2383
13	Resorte	1	C 72 UNI 3545	
12	Troquel	1	U 85 MV 8 UNI 2955	Temple y revenido
11	Varilla del expulsor	1	Aq 50 UNI 743	
10	Expulsor	1	Aq 50 UNI 743	
9	Anima	1	Aq 50 UNI 743	
8	Prensachapas	1	Aq 50 UNI 743	
7	Matriz	1	U 85 MV 8 UNI 2955	Temple y revenido
6	Base	1	G 26 UNI 668	
5	Pasador	4	Aq 50 UNI 743	
4	Cazoleta superior	1	A 34 UNI 673	
3	Varilla roscada	1	Aq 50 UNI 743	
2	Resorte	1	50 CV 4 UNI 34	
1	Cazoleta inferior	1	A 34 · UNI 673	
Fecha	Estampa para cortar y embutir		Escala / Dib. Nº 20	



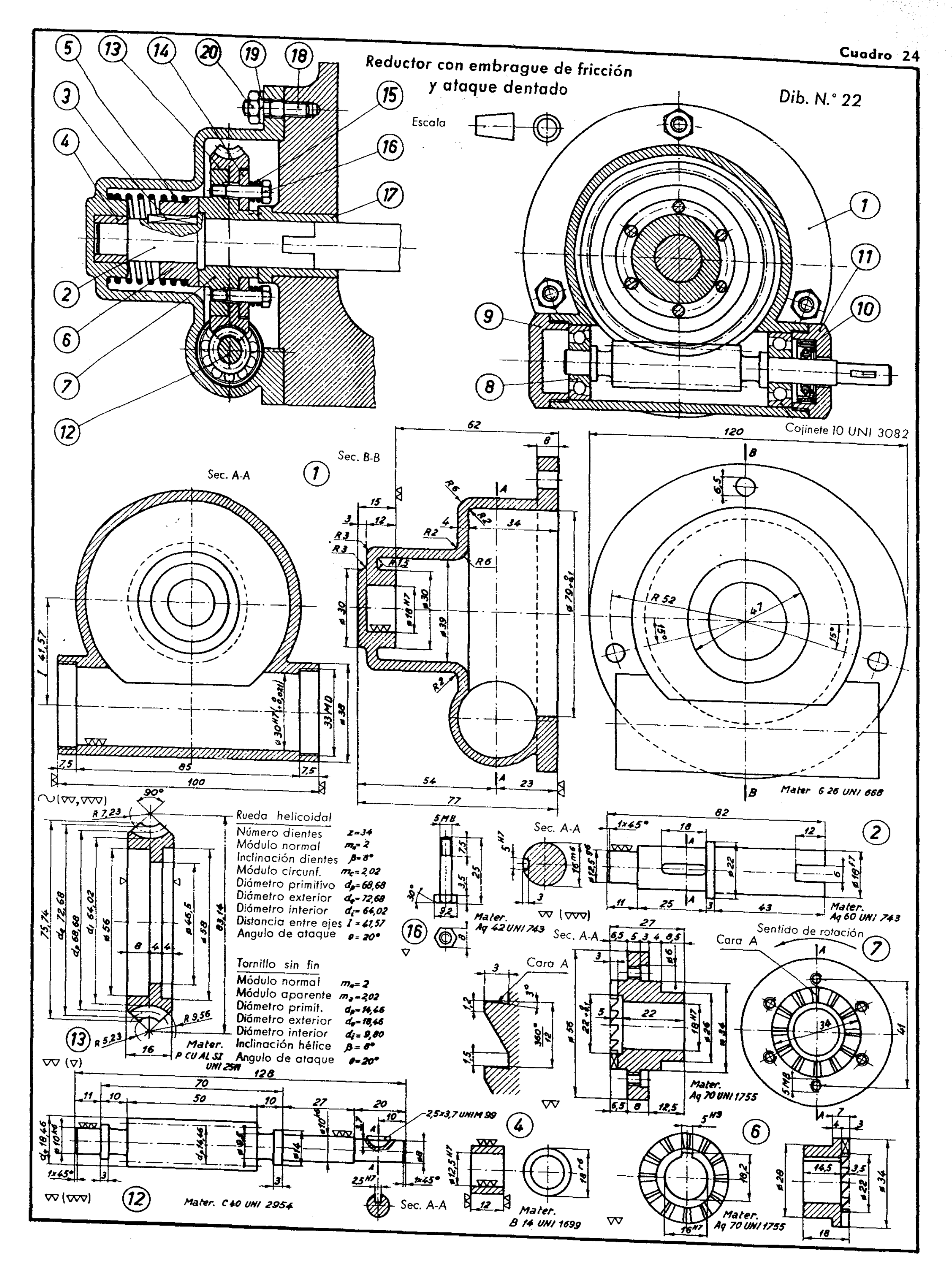
Detalles Dib. N.° 20
4 agujeros
4 agujeros
4 agujeros
4 agujeros
N.° espiras 16
descargada 56
parte para templar y revenir
4 agujeros
4 agujeros

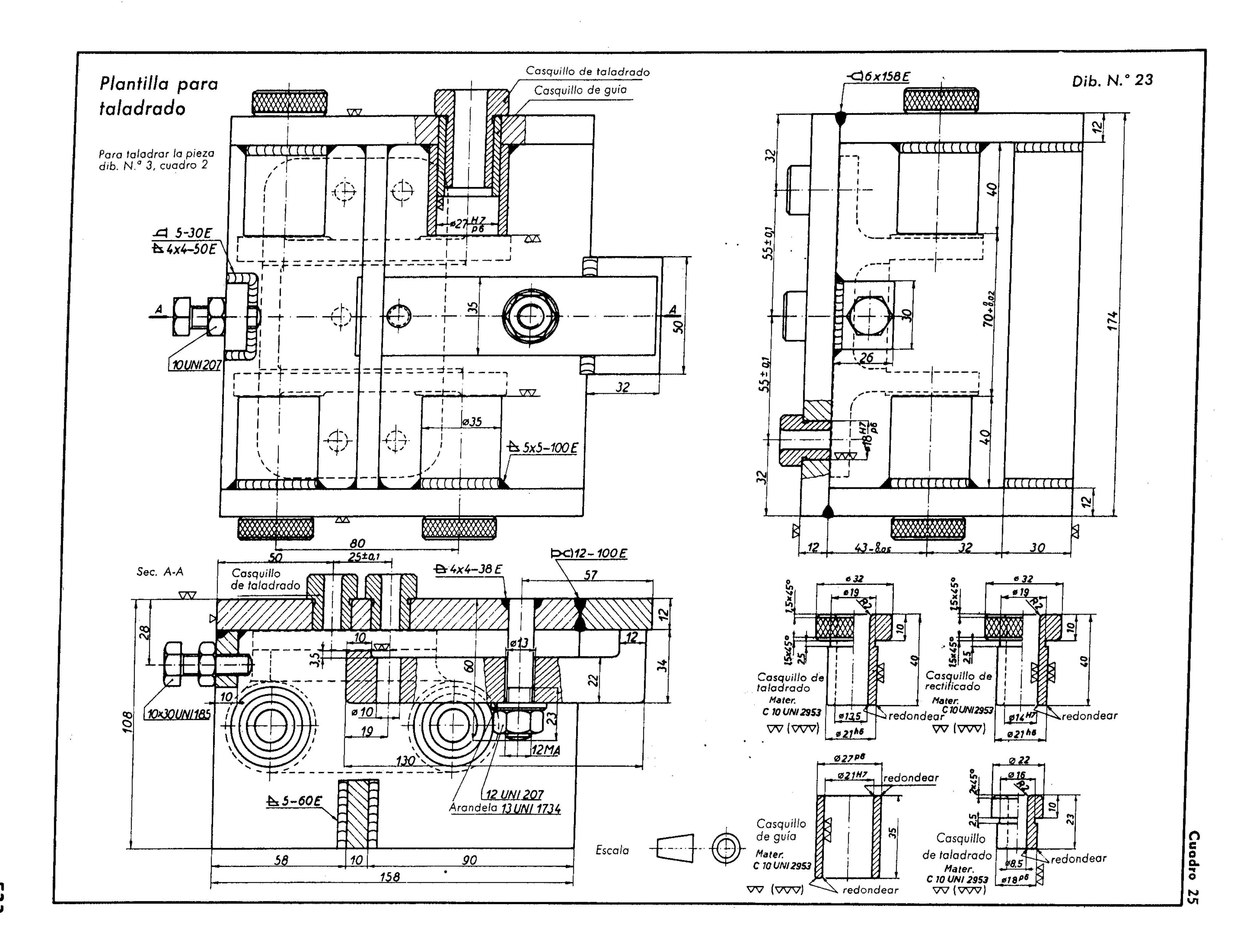


Pc	Nombre	Nº piezas	Material	Notas
14	Tornillo	2	A 37 UNI 743	8x20 UNI 185
13	Arandela	2	A 37 UNI 743	
12	Engranaje cónico	2	Aq 42 UNI 673	
11	Casquillo	1	B 10 UNI 1701	
10	Chaveta	2	C 40 UNI 2954	8x7x40 UNIM 85
9	Casquillo	1	B 10 UNI 1701	
8	Soporte	1	G 26 UNI 668	
7	Collar superior	1	G 26 UNI 668	
6	Chaveta	1	C 40 UNI 2954	12x8x50 UNIM 85
5	Excéntrica	1	G 26 UNI 668	
4	Cojinete	1		30 UNI 4204
3	Cono de poleas	1	G 26 UNI 668	
2	Chaveta	1	C 40 UNI 2954	10x8x30 UNIM 85
1	Arbol	1	18 CN 16 UNI 2953	
Fecha	Mecanismos aplicando varios sistemas de transmisión		Escala / Dib. Nº 21	



Sec. A-A
Sec. C-C
Sec. B-B
Detalles Dib. N.° 21
Engrasador
3-12 MB UNI 2658
Collar superior
redondear
Tornillo
Mater. C 20 UNI 2954
agujero taladrado en el montaje
Tuerca 12 UNI 1727
Mater.
C 20 UNI 2954
Collar inferior


Cuadro 24
Reductor con embrague de fricción
y ataque dentado
Dib. N.° 22
Escala
Cojinete 10 UNI 3082
Sec. A-A
Sec. B-B
Mater. G 26 UNI 668
Rueda helicoidal
Número dientes z=34
Módulo normal mn=2
Inclinación dientes β=8°
Módulo circunf. mc=2,02
Diámetro primitivo dp=68,68
Diámetro exterior de=72,68
Diámetro interior di=64,02
Distancia entre ejes I=41,57
Angulo de ataque θ=20°
Tornillo sin fin
Módulo normal mn=2
Módulo aparente ma=2,02
Diámetro primit. dp=14,46
Diámetro exterior de=18,46
Diámetro interior di=9,80
Inclinación hélice β=8°
Angulo de ataque θ=20°
Mater. P CU AL SI UNI 2511
Mater. Aq 42 UNI 743
Mater. Aq 60 UNI 743
Cara A
Sentido de rotación
Mater. Aq 70 UNI 1755
Mater. C 40 UNI 2954
Mater. B 14 UNI 1699
Mater. Aq 70 UNI 1755


Plantilla para taladrado
Para taladrar la pieza dib. N.° 3, cuadro 2
Dib. N.° 23
Casquillo de taladrado
Casquillo de guía
5-30E
4x4-50E
10UNI207
5x5-100E
6x158E
Sec. A-A
Casquillo de taladrado
4x4-38E
12-100E
10x30UNI185
12MA
12 UNI 207
Arandela 13 UNI 1734
5-60E
Escala
Casquillo de taladrado
Mater.
C 10 UNI 2953
redondear
Casquillo de rectificado
Mater.
C 10 UNI 2953
redondear
Casquillo de guía
Mater.
C 10 UNI 2953
redondear
Casquillo de taladrado
Mater.
C 10 UNI 2953
redondear

Cuadro 25

TERCERA PARTE – MATERIALES EMPLEADOS EN LAS CONSTRUCCIONES MECÁNICAS

1. Generalidades

Uno de los trabajos más delicados del proyectista es la selección, para cada aplicación, de los materiales más apropiados, tanto por sus propiedades tecnológicas, que permitan su mecanizado en la forma deseada, como por sus propiedades mecánicas, físicas y químicas, que aseguren que la pieza fabricada será capaz de resistir los esfuerzos mecánicos a que estará sometida y la acción de los agentes físicos y químicos con que estará en contacto, después de colocarla en su sitio.

Es evidente que un estudio completo de todos los materiales exigiría una extensión que no cabe en el presente texto. No obstante, dada la importancia del asunto, se le dará la extensión suficiente para que el dibujante tenga una clara orientación para la selección de los materiales de aplicación más corriente, dejando para los proyectistas especializados los casos de aplicaciones especiales.

Puesto que es imposible estudiar aquí todos los materiales que puedan presentarse al dibujante, consideraremos solamente los siguientes grupos:

Productos siderúrgicos, es decir, los constituidos principalmente por *hierro* aleado con carbono y eventualmente con otros elementos químicos.

Cobre, bronce y latón, es decir, el cobre y los materiales que tienen como elemento característico el *cobre*, aleado con el estaño *(bronce)*, con el cinc *(latón)* y eventualmente con otros elementos químicos.

Aluminio, magnesio y sus aleaciones, materiales llamados comúnmente aleaciones ligeras o ultraligeras, por su pequeño peso específico.

Otros metales y aleaciones empleados en las construcciones metálicas (cinc, metales antifricción, etc.).

Materias plásticas, sustancias que fabrica la industria química, que, por ser muy prácticas, por su facilidad de trabajarlas y por su resistencia a muchos agentes químicos, se puede afirmar que han revolucionado la técnica de fabricación de una gran cantidad de productos industriales, reemplazando por completo otros materiales, pertenecientes en su mayoría a los grupos anteriores y empleados exclusivamente hasta hace pocos años.

Madera y sus derivados, materiales que, aunque empleados por el hombre en la más remota antigüedad, son todavía insustituibles actualmente.

De los materiales de que se va a tratar, sólo hay una parte unificada. En las páginas siguientes, después de algunas consideraciones generales sobre cada grupo, se estudiarán principalmente los materiales unificados: se dará una idea de los materiales no unificados, limitada a los de mayor importancia y empleo, con las indicaciones eventuales pertinentes para facilitar la búsqueda de los datos correspondientes en las listas y catálogos de dichos productos.

Abreviaturas empleadas en las tablas de los materiales

A_5	Alargamiento de la probeta de longitud igual a 5 veces su diámetro.
A_{10}	Alargamiento de la probeta de longitud igual a 10 veces su diámetro.
Bo	Bonificado.
Di	Ductilidad.
Es	Estirado.
Fo	Forjado.
H_d	Dureza Brinell.
HR_c	Dureza Rockwell.
K	Resiliencia.
Ni	Nitruración.
R	Carga unitaria de rotura.
Re	Recocido.
Rv	Revenido.
s	Carga unitaria en el límite de elasticidad.
Te	Temple: **O** en aceite; **A** en agua.

Capítulo I

PRODUCTOS SIDERÚRGICOS

2. Clasificación

Antes de empezar a tratar de los diferentes materiales, es necesario llamar la atención del lector sobre el hecho de que cuando se indican los componentes de una aleación determinada, se señalan únicamente los elementos químicos *cuya presencia en la aleación le comunica características específicas;* o sea, que se prescinde de los elementos que, ya sea por la composición de los minerales de que se parte, ya debido a los procesos de producción, están inevitablemente presentes como impurezas en los materiales considerados; es de clara evidencia que estas impurezas no han de pasar de los límites que la técnica ha demostrado que no se han de rebasar si no se han de modificar las características del material. Así, por ejemplo, es bien conocido el hecho de que las aleaciones férricas contienen siempre como impurezas el manganeso, el silicio, el fósforo y el azufre. Estas sustancias no se han de considerar como elementos de las diversas aleaciones, salvo en el caso de que (por ejemplo, el manganeso y el silicio) se añadan deliberadamente en cantidad suficiente para influir en las propiedades de las aleaciones.

Expuesto esto, pasemos a tratar con extensión suficiente de los productos siderúrgicos.

Antiguamente se acostumbraba clasificar las aleaciones hierro-carbono del modo siguiente:

Hierro. Porcentaje de carbono inferior al 0,32 % (aproximadamente). Los productos de este grupo *no admiten el temple,* se *sueldan con facilidad;* se trabajan por *forjado;* se obtienen principalmente por pudelado, pero también por fusión.

Acero. Porcentaje de carbono entre 0,32 % y 1,7 (aproximadamente). Los aceros se pueden *templar* y *soldar,* se trabajan por *forjado* y por *fusión:* están preparados para fundir. Al aumentar la proporción de carbono aumenta generalmente la dureza y disminuye el porcentaje de alargamiento bajo carga.

Fundiciones. Porcentaje de carbón entre 2,2 hasta aproximadamente un 6,6 %. No se pueden forjar y se transforman por fusión en las piezas de la forma deseada.

Las aleaciones con porcentaje de carbono comprendido entre 1,7 y 2,2 %, llamadas *fundiciones aceradas,* no interesan al dibujante, pues sólo se emplean como material de base para la fabricación de otros materiales.

Actualmente se prefiere la siguiente clasificación:

Productos siderúrgicos:

Aceros: productos siderúrgicos forjables con porcentaje de carbono < 1,7 %;

Fundiciones: productos siderúrgicos no forjables, con porcentaje de carbono < 6,6 %, transformables en piezas mecánicas de la forma deseada mediante fusión en moldes adecuados. Las de un contenido de carbono entre 1,7 y 2,3 % tienen escasa aplicación y se conocen con el nombre de *fundiciones aceradas.*

Adoptaremos esta clasificación.

3. Nociones sobre tratamientos térmicos

Puesto que es indispensable que el dibujante tenga una idea clara de cómo influye en las propiedades tecnológicas de las aleaciones hierro-carbono la proporción del contenido de carbono, recordemos en primer lugar el **diagrama de equilibrio** de dichas aleaciones, al cual tendremos que referirnos continuamente cuando recordemos los tratamientos térmicos, y cuyo estudio profundo se desarrolla en los textos de tecnología.

Recordemos ante todo que el hierro se presenta en **cuatro** *estados alotrópicos* llamados α, β, γ, δ, estados que alcanzan sucesivamente cuando el hierro se calienta progresivamente. En el estado alotrópico γ el hierro tiene la importantísima propiedad de disolver una considerable cantidad de carbono en su masa sólida, dando una estructura llamada **austenita.** Los hierros α y β no tienen esta propiedad; por lo que se comprende fácilmente que si cuando se ha alcanzado la estructura austenítica se efectúan enfriamientos más o menos rápidos de la aleación, se pueden obtener a *temperatura ordinaria* estructuras **inestables,** que provienen de la imposibilidad de desprenderse del carbono disuelto, cuando el hierro γ, al transformarse rápidamente en β y α, ya no puede contenerlo.

Esta consideración es el punto de partida para comprender algunos de los tratamientos térmicos a que se puede someter una aleación hierro-carbono, entendiéndose generalmente con el nombre de **tratamiento térmico** *una operación o una serie de operaciones mediante las cuales un metal o una aleación metálica se someten, sin llegar al punto o intervalo de fusión, en ambiente de naturaleza determinada, a uno o más ciclos térmicos* (calentamiento, mantenimiento a cierta temperatura, enfriamiento, etc.), *mediante los cuales el metal o la aleación adquieren determinadas propiedades.* La temperatura alcanzada y la velocidad de calentamiento o enfriamiento se fijan para cada caso.

Para los materiales férricos (aleaciones hierro-carbono), la tabla **UNI 3354** fija la nomenclatura de los tratamientos y las definiciones correspondientes, que por lo que puede interesar al dibujante, se transcriben según los nombres correspondientes a cada tratamiento, en el pequeño índice tecnológico, al final de este volumen (véanse, por ejemplo, temple, recocido, revenido, bonificado, etc.).

Las temperaturas a que tienen lugar los cambios de los estados alotrópicos, y en líneas generales, las temperaturas en las que principia o termina, para un material dado, una variación de la naturaleza o del número de las *fases* (o sea, de las partes homogéneas de que se puede considerar compuesto el sistema, por ejemplo, grafito, perlita, cementita, austenita, etc.) se designan con el nombre de **puntos críticos.** La consideración de estos puntos críticos es de la máxima importancia para los tratamientos térmicos.

En todo el estudio de las aleaciones hierro-carbono se ha de considerar como especialmente importante la *aleación que contiene el* 0,85 % *de carbono* llamada **perlita,** base de los aceros, y la *aleación con el* 4,3 % *de carbono,* llamada **ledeburita,** constituyente fundamental de las fundiciones. El carbono, en todas las aleaciones hierro-carbono, se encuentra en forma de **cementita** *(carburo de hierro);* pero la cementita de las fundiciones, en ciertas condiciones, se descompo-

ne en hierro y carbono *(grafito);* por lo cual con frecuencia en las fundiciones el carbono se encuentra libre en la masa de la aleación, en forma de nódulos o láminas de grafito.

Considerando en primer lugar los aceros, se puede decir que un *acero recocido* (es decir, que no conserve trazas de eventuales tratamientos térmicos sufridos anteriormente), si tiene un porcentaje de carbono igual a 0,85, está constituido por sólo perlita; si tiene una proporción inferior, está constituido por perlita y ferrita (o sea, hierro puro), finalmente, si la proporción es superior, el acero está constituido por perlita y cementita. En consecuencia se tiene:

$C < 0,85$ % *Aceros* **hipoeutectoides,** formados, en estado recocido, por *perlita + ferrita;*

$C = 0,85$ % *Acero* **eutectoide,** formado, en estado recocido, *solamente por perlita.*

$C > 0,85$ % *Acero* **hipereutectoide,** formado en estado recocido, por *perlita* y *cementita.*

Expuesto lo que antecede, se pueden definir los siguientes puntos críticos:

A_1: es el punto crítico en el que tiene lugar la transformación *austenita* $\Longleftrightarrow$ *perlita,* significando el signo $\Longleftrightarrow$ que durante el calentamiento la transformación se efectúa en un sentido y durante el enfriamiento en sentido contrario.

A_3: es el punto crítico que corresponde a la transformación *ferrita* $\Longleftrightarrow$ *austenita* o *hierro* γ según la proporción de carbono para los aceros hipoeutectoides.

A_{cm}: es el punto crítico correspondiente a la disolución o precipitación de la cementita en la austenita para los aceros hipereutectoides.

A_4: es el punto crítico correspondiente a la transformación austenita o hierro $\gamma \Longleftrightarrow$ ferrita δ.

Al variar el porcentaje de carbono, varían también las temperaturas correspondientes a los puntos críticos; en consecuencia, en el diagrama porcentajes-temperatura (llamado **diagrama de equilibrio** *de las aleaciones hierro-carbono*) reproducido en la figura III, 1, el lugar geométrico de todos los puntos críticos es una línea, cuya posición es preciso conocer. Así que, pudiendo tal vez corresponder a cada punto crítico, si se considera, por ejemplo, el aumento gradual de temperatura, *dos temperaturas distintas, una al* **principio** *de la transformación y otra al* **final** *de la transformación considerada,* pueden también resultar dos líneas distintas, una del principio y otra del final de dicha transformación, líneas que limitan un **campo,** en el cual puede tener lugar la transformación considerada.

En el diagrama de equilibrio reproducido, *MNPQ* es la línea de líquido, es decir, la que corresponde a la variación del punto de fusión, encima de la cual todas las aleaciones son líquidas; por debajo de dicha línea, las aleaciones están total o parcialmente solidificadas. La línea *MRSTPU* es la línea de sólido, por debajo de la cual todas las aleaciones están **completamente solidificadas.**

El valor de A_3 disminuye al aumentar el porcentaje de carbono, hasta llegar a 723° C para $C = 0,85$ % (eutectoide); luego, aumenta hasta 1130° C (punto *T*, que corresponde a la cuota de 1,7 % de *C*, por encima de la cual ya no hay aceros, sino fundiciones).

Si un acero, por ejemplo, con $C = 0,7$ %, se enfría, ocurre lo siguiente (véase el diagrama, siguiendo la vertical *DG*):

en *D* empieza a *solidificarse;*

entre *D* y *E* se forman cristales de hierro γ con carbono disuelto, mezclados con la aleación líquida;

en *E* (a unos 1330° C) la solidificación es completa; la aleación es una solución de carbono en el hierro γ (austenita).

De *E* a *F* no se produce variación.

En *E* empieza la transformación del hierro en hierro β y α y ya no puede contener carbono disuelto. Por lo tanto, de *F* a *G* se tiene una mezcla, en estado sólido, de ferrita y austenita en la cual, al bajar la temperatura, el porcentaje de *C* alcanza en *G* el valor 0,85.

Por debajo de *G* ya no hay austenita, sino ferrita α mezclada en estado sólido con cementita, y además ferrita en cantidad variable: es decir, se tiene: *ferrita* + (*ferrita y cementita con* $C = 0,85$ %), o sea, *ferrita + perlita.*

El área limitada por las líneas señaladas en la figura con A_3, A_{cm} y A_4 se llama *campo* γ.

Con un acero hipereutectoide, por ejemplo, con $C = 1,2$ % (véase en el diagrama la vertical *D' G'*):

en *D'* empieza la solidificación;

entre *D'* y *E'* los cristales de austenita se encuentran mezclados con la aleación líquida;

entre *E'* y *F'* (sólido) se tiene la austenita;

entre *F'* y *G'* se separa cementita de la solución sólida;

debajo de *G'* se tiene un conglomerado de perlita (ferrita y cementita con $C = 0,85$ %) y cementita.

Para la fundición ($C > 1,7$ %), cuando se produce el enfriamiento, si la proporción de *C* es $< 4,3$ % se produce entre *D''* y *E''* (véase el diagrama) la precipitación de cristales de austenita en el líquido; si $C > 4,3$ % se produce la precipitación de cementita en el líquido.

De la misma forma, en *P*, con 4,3 % de carbono, se forma la estructura sólida *ledeburita* (constituyente fundamental de todas las fundiciones): con contenidos menores o mayores de carbono, además de la ledeburita se tiene austenita o cementita. Esta última se puede descomponer posteriormente en *carbón grafítico (grafitación)* y ferrita.

Tenemos pues, en el diagrama de equilibrio, varias zonas delimitadas, como se ve en la figura III, 1, que corresponden a las estructuras o a las mezclas de sustancias indicadas en la misma figura.

Volviendo sobre las zonas de los aceros considerados anteriormente, correspondientes a las verticales *DG* y *D' G'* del diagrama, se comprende fácilmente que, si estando a una temperatura algo superior a la línea de A_4, se enfría bruscamente la aleación hasta la temperatura ordinaria y de todos modos siempre más bien baja, no dando tiempo al carbono para separarse, se tendrá el tratamiento de *temple,* con lo cual se obtiene a la temperatura ordinaria una estructura semejante a la austenítica, llamada *martensita;* pero dicha estructura es *inestable,* en el sentido de que, si se efectúa un nuevo calentamiento seguido de un enfriamiento lento (recocido) o rápido *(revenido),* la estructura martensítica desaparece o se atenúa, por lo que, según la temperatura alcanzada, se pueden obtener diferentes estructuras, todas ellas de bastante importancia por sus aplicaciones.

No es posible aquí extenderse más sobre este asunto, remitiéndose para un tratado más completo a los textos de tecnología y especialmente a los de tratamientos térmicos.

El diagrama considerado es aplicable, como se ha dicho, a las *aleaciones hierro-carbono simples.* La adición de otros elementos como el níquel, el manganeso, el cromo, etc., altera notablemente la posición y aun a veces la forma de las diferentes líneas del diagrama cuyas variaciones adquieren una importancia fundamental, porque, con sus cambios de lugar,

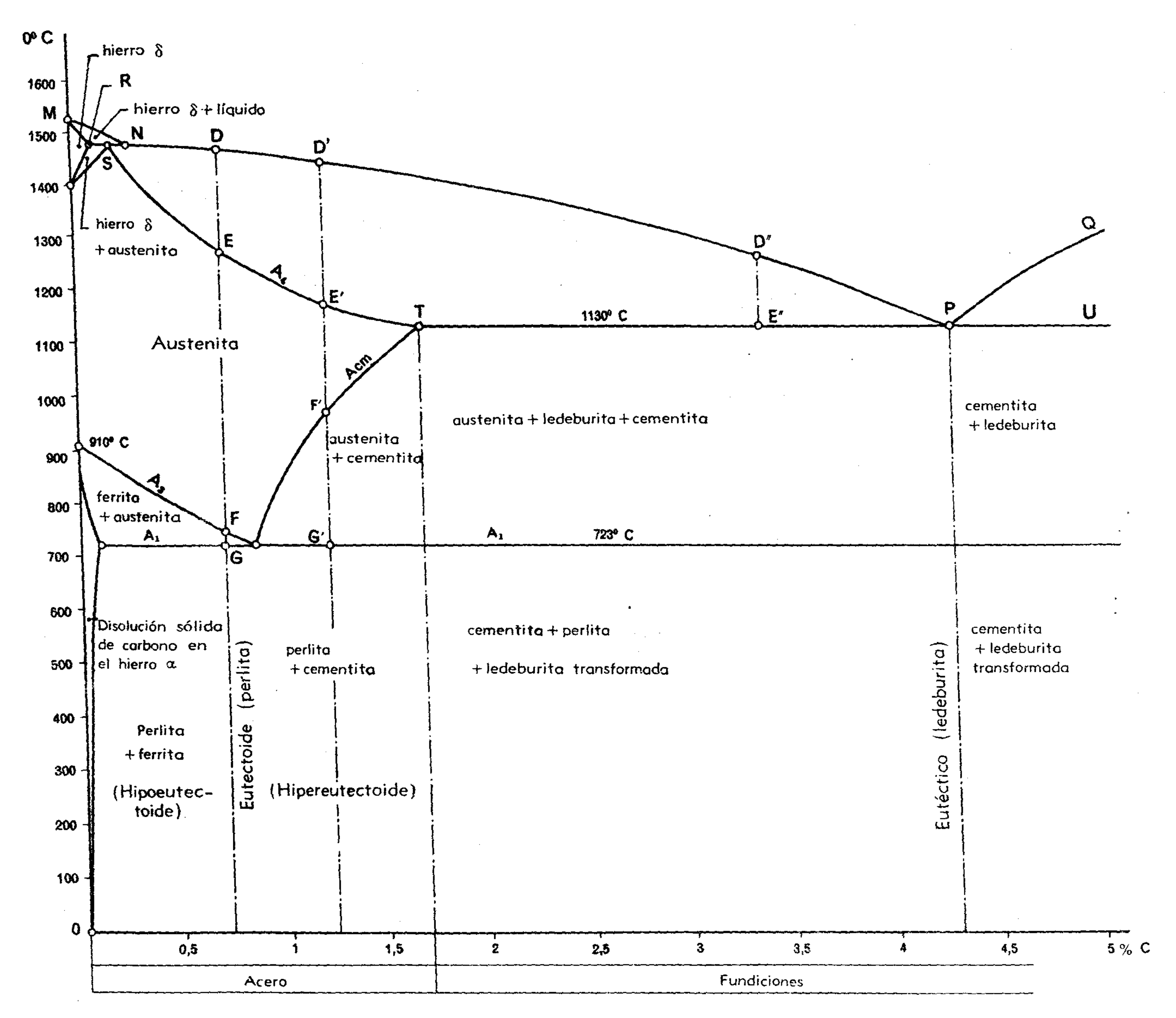


Diagrama esquemático de las aleaciones hierro-carbono

Fig. III, 1.

determinan también variaciones sustanciales en la posición y en la extensión de las zonas en las que se producen las variaciones de estructura, base de los tratamientos térmicos. Por este motivo, los productos siderúrgicos que además del hierro y del carbono contienen algunos de los elementos indicados, presentan propiedades características que han hecho que se les designe con el nombre de **aceros especiales** o **aleados.**

Un estudio, aunque sea superficial de las variaciones originadas por la adición a los aceros de uno o más elementos aleados, sobrepasa completamente los límites del presente texto; por lo cual nos limitaremos a exponer en una tabla (la 198) los efectos principales y generales que cada elemento, considerado aisladamente, tiende a producir en los aceros. Esta tabla, que tiene solamente valor indicativo, no toma en consideración los efectos acumulativos de las adiciones de dos o más elementos, porque esta consideración es excesivamente complicada. En efecto, cuando dos o más elementos se añaden a una aleación, su efecto total no corresponde a la suma de los efectos de los dos o más elementos considerados aisladamente: y la determinación de dicho efecto total, que frecuentemente se ha de efectuar experimentalmente, es una de las investigaciones más interesantes y difíciles de la metalurgia.

En este punto es oportuno dar una idea de las llamadas **estructuras controladas.** Los modernos recursos de experimentación y verificación han permitido

Tabla 198

Efectos generales producidos por un elemento aleado con el acero				
Elemento aleado considerado	Influencia media del elemento sobre la estructura de la aleación	Influencia media del elemento sobre los tratamientos térmicos	Influencia media sobre los caracteres tecnológicos	Influencia sobre los caracteres mecánicos, físicos y químicos
Manganeso (Mn)	Ensancha el campo γ, bajando notablemente los puntos críticos, tanto más cuanto más elevado es el porcentaje del elemento. Dificulta la escisión de la cementita en ferrita durante el enfriamiento lento: si el % es bastánte elevado, se produce el autotemplado.	Aumenta la penetración del temple; disminuye los efectos de un sobrecalentamiento durante el forjado. Tratamientos análogos a los de los aceros al carbono y siempre más sencillos que los aplicados a los aceros al cromo.	Al aumentar la proporción de Mn, disminuyen: a) la forjabilidad; b) la soldabilidad.	Al aumentar el % de Mn, aumentan la carga de rotura y el límite de elasticidad: y también moderadamente el % de alargamiento. Los aceros con elevada proporción de carbono y con el 13 % de Mn, resisten los choques y el desgaste por frotamiento.
Silicio (Si)	Reduce el campo γ, y no modifica los puntos críticos. El Si estabiliza la estructura ferrítica y con elevado % dificulta la formación de perlita y favorece la formación de grafito.	Aumenta la templabilidad, a causa de la disminución de la velocidad crítica de enfriamiento.	Disminuye la deformabilidad en caliente y en frío. Disminuye la soldabilidad.	Al aumentar el % de Si aumentan la tenacidad y la dureza: después de tratamientos térmicos, con el 2 % de Si, aumenta la resistencia a la flexión y torsión, la dureza superficial y la resistencia al desgaste. Disminuye la resiliencia. Mejoran las características magnéticas y la inoxidabilidad en caliente.
Níquel (Ni)	Ensancha el campo γ, bajando los puntos críticos; da tendencia a la formación de grietas intercristalinas. Afina el grano de los aceros, aun con enfriamiento lento. Produce una estructura perlítica, martensítica o austenítica según el %.	Disminuye la temperatura de temple y recocido, con lo que se evita el sobrecalentamiento. Aumenta la templabilidad porque se tiende a estabilizar la estructura austenítica.	No dificulta el forjado en caliente o en frío. Los aceros con elevada proporción de Ni son algo difíciles de trabajar. Disminuye la soldabilidad.	Aumenta la tenacidad, y da un elevado s/R después del tratamiento. Los aceros con Ni > 5 % (perlíticos) están indicados para cementación: tienen bastante dureza superficial aun sin templar. Con poca C y menos Ni son apropiados para bonificar y dan buen alargamiento. Con gran contenido de Ni (austeníticos) tienen gran resistencia a la corrosión aun por gases calientes: bajo coeficiente de dilatación.
Cromo (Cr)	Disminuye el campo γ: si Cr > 18 %, la estructura es siempre ferrítica. Con menos cromo y poco C, la estructura es perlítica y por el temple se convierte en martensítica.	Exige mucho cuidado en los tratamientos térmicos (control de temperatura, velocidad de calentamiento, forma de efectuar el revenido, etc.). El forjado se efectúa con calentamiento lento. Es necesario un normalizado previo. En conjunto aumenta la capacidad de temple.	Son difíciles de soldar y de forjar.	Después del tratamiento dureza elevadísima, aumento de resistencia y del límite de elasticidad, aun a elevadas temperaturas de funcionamiento. Alta resistencia al desgaste, moderada resiliencia. Relación s/R mayor que en los aceros al Cr-Mo o al Cr-Ni. Elevada resistencia a la corrosión (con Cr $= 12 \div 16$ % inoxidable). Apropiados para imanes permanentes.
Molibdeno (Mo)	Disminuye el campo γ. Con poco % (< 3 %) la estructura es perlítica, y puede transformarse en martensítica, con grano más fino, después del temple. Con Mo > 3 % la estructura es austenítica.	Mejora la templabilidad y la penetración del temple.	Poca forjabilidad y soldabilidad.	Alta resistencia al desgaste, para empleos en caliente o en frío: buena resistencia a la fatiga y discreta resiliencia. Apropiados para imanes permanentes.
Tungsteno (Wolframio) (W)	Disminuye el campo γ.	Con W > 18 % los aceros son autotemplantes. El temple resiste el revenido hasta el rojo oscuro.	Requiere especial cuidado en el forjado y en el temple. Disminuye la soldabilidad.	Notable dureza; aumentando el % de W, aumenta la resistencia y la dureza: disminuye el alargamiento. Pasando del 2 % disminuye la resiliencia.
Vanadio (V)	Disminuye el campo γ. El V actúa como desoxidante: mejora las propiedades mecánicas y tecnológicas.	Poco sensible al sobrecalentamiento; aumenta la estabilidad de revenido.	De fácil mecanizado en caliente y en frío, pero muy resistentes a las deformaciones. Se sueldan empleando escorificantes.	Alto límite de elasticidad.

asegurar que *las estructuras adoptadas por los aceros están ligadas íntimamente a las características tecnológicas y mecánicas de dichas aleaciones*; por lo cual, la orientación productiva de los fabricantes de acero se basa sobre dicha dependencia, y todos los fabricantes, al suministrar los aceros a la industria, indican exactamente *la forma en que, mediante los tratamientos apropiados, sus productos adquieren y presentan las estructuras controladas que les comunican las características mecánicas y tecnológicas exigidas.*

Los factores que influyen en la posibilidad de obtener estructuras controladas, son:

a) la determinación exacta de la composición de los aceros, en cuanto afecta a los elementos constituyentes de la aleación;

b) la determinación de la proporción de impurezas, tales como el azufre, el fósforo, el manganeso, el silicio, cuya proporción ha de ser limitada, por lo que los efectos nocivos de estas impurezas pueden ser suprimidos o limitados, de forma que no perjudiquen las propiedades de la aleación.

La metalurgia moderna está en condiciones de efectuarlo y aun de graduar rigurosamente las proporciones de los elementos aleados, en relación con la influencia que ejercen.

En cuanto a los ciclos térmicos de tratamiento, el modo (temperatura máxima que se ha de alcanzar, velocidad de calentamiento, duración del mantenimiento a la temperatura máxima, velocidad y sistema de enfriamiento, etc.) de efectuar los tratamientos se señala con la máxima precisión; y el proceso de los tratamientos ha de seguir escrupulosamente todas las prescripciones, porque cualquier arbitrariedad lleva consigo la imposibilidad de lograr las propiedades deseadas.

No se ha de olvidar tampoco que las características exigidas para la perfección de una pieza mecánica se logran en muchos casos, únicamente mediante la aplicación de los adecuados tratamientos térmicos entre las fases del proceso de fabricación de la pieza. A veces, la aplicación de estos tratamientos obliga al proyectista o al mecánico a modificar más o menos sensiblemente las fases del proceso de fabricación o su sucesión. Consideremos, como ejemplo, el caso de tener que fabricar una pieza determinada, tal como un árbol con un extremo roscado. Teóricamente se podría emplear o bien acero para bonificar o bien acero para cementar. Pero si se escoge el acero bonificado, se ha de efectuar el roscado antes del tratamiento, porque el endurecimiento que éste ocasiona dificultaría la ejecución de dicho roscado y sería por lo tanto necesario rectificar la rosca después del tratamiento. En cambio, empleando acero para cementar, se puede dejar en la parte que se ha de roscar un exceso de metal del espesor necesario; efectuada la cementación se quita el exceso de metal, se templa y finalmente se efectúa el roscado sin el inconveniente del endurecimiento, debido al tratamiento del temple, puesto que se efectuará sobre la parte de material que no se ha cementado. En consecuencia, es sin duda alguna más conveniente el acero para cementar.

Los ejemplos de este tipo podrían ser muy numerosos; pero el que acabamos de exponer es suficiente para demostrar cómo se ha de tener en cuenta por las oficinas técnicas el modo de obtener determinadas propiedades mediante los apropiados tratamientos térmicos, al establecer el orden de las operaciones en la fabricación de cada pieza.

4. Clasificación de los aceros

Debemos ya empezar la enumeración de los aceros unificados, de modo que resulte útil al dibujante.

Una clasificación de los aceros, todavía bastante usada en la práctica, es la que sigue:

Aceros:

ordinarios (aleaciones binarias). Están constituidos exclusivamente por *hierro y carbono;* según los criterios más antiguos, en gran parte superados, se subdividen en:

a) **férricos**, infusibles industrialmente, sólo se pueden trabajar por forjado, obtenidos principalmente por pudelado, pero también por fusión; no admiten el temple, fácilmente soldables, con proporción de carbono de $C < 0{,}32\,\%$. Figura, entre otros, el *hierro Armco* con $C < 0{,}05\,\%$, casi puro, muy maleable, obtenido en horno Martin, de gran empleo para planchas, tubos, como material de adición en soldadura autógena, bastante resistente a la corrosión y a la oxidación:

b) **aceros al carbono,** con C entre 0,32 y 1,7 %, tratables por forjado y fusión, templables, soldables;

(especiales) aleados. Tienen como constituyentes, además del hierro y del carbono, otros elementos (manganeso, silicio, cobalto, níquel, wolframio, vanadio, molibdeno, etc.);

con un solo elemento, además del Fe y C: **aceros ternarios;**

con dos elementos, además del Fe y C: **aceros cuaternarios;**

con más de dos elementos, además de Fe y C: **aceros complejos.**

La primera división (aceros ordinarios), frecuentemente, desde un punto de vista práctico y empírico, se sustituye por la siguiente, que tiene en cuenta el hecho de que, al aumentar el porcentaje de carbono aumenta la dureza y la carga de rotura (mientras que disminuye el alargamiento):

Aceros ordinarios:

extradulces $\sim 0{,}15\,\%$ de C;
dulces $\sim 0{,}15 \div 0{,}20\,\%$ de C;
semiduros $\sim 0{,}20 \div 0{,}50\,\%$ de C;
duros $\sim 0{,}50 \div 0{,}75\,\%$ de C;
extraduros más del 0,75 % de C;

contienen como impurezas, *manganeso* (1 ÷ 2 %), *silicio* (< 0,05 %), *azufre y fósforo* [< 0,05 % en total los aceros *ordinarios;* en los de *calidad*, más resistentes (en caliente por el escaso contenido de azufre y en frío por el escaso contenido de fósforo) el contenido total de S y P es < 0,03 %].

La **clasificación UNI,** que tiene como fin principal aclarar y facilitar la designación de los diferentes aceros mediante símbolos racionales, es la siguiente **(UNI 3344):**

Aceros:

Clase A: (aceros designados a base de sus características mecánicas) *aceros ordinarios al carbono*.

Clase B: (aceros designados a base de su composición química):

aceros al carbono especiales;

aceros (poco) aleados, en los que el contenido de cada elemento aleado es inferior al 5 %.

aceros fuertemente aleados, en los que por lo menos uno de los elementos aleados se halla en porcentaje superior al 5 %.

Cada clase se subdivide como se indica en las tablas 199 y 200 (págs. 534-535).

No parece necesario extenderse *en este texto*, sobre la subdivisión **UNI** de los aceros, puesto que en las tablas 199 y 200 están expuestas ampliamente, en la forma más clara posible, todas las definiciones y las normas de designación, acompañando cada tipo de designación con un ejemplo, ilustrado con todo detalle.

Ha parecido conveniente reunir en la tabla 201 todo lo que puede interesar sobre símbolos de los aceros, subdivididos según la clasificación **UNI.**

Conviene también dar una idea sobre los símbolos de los aceros, según el sistema americano **SAE** *(Society Automobile Engineers)*. Cada acero se designa con tres números, el primero de los cuales (del 1 al 9) indica el tipo de acero; el segundo representa el porcentaje (redondeado al número entero más próximo) del elemento aleado especial de aquel tipo de acero. El último número, de dos cifras, indica el porcentaje, multiplicado por 100, de carbono, o sea, el contenido de C en 10 000 partes.

Veamos el significado en la tabla de la primera cifra de la designación (tabla 202).

Ejemplo: 2632 significa: acero al níquel con el 6 % de níquel y 0,32 % de carbono.

Considerada la clasificación UNI de los aceros, pasemos una rápida revista a las características de dichos aceros y de los semifabricados unificados obtenidos de tales aceros.

5. Aceros simples

a) **Para forjar.** Se suministran en estado bruto, sin recocer, en forma de lingotes o de semifabricados (barras, planchas, etc.), de espesor ≧ 40 mm, que se emplean sometiéndolos a operaciones en caliente (forjado, laminación, estampado, laminado) o mecanizándolos en máquinas herramientas.

Las formas de las principales secciones de perfiles y estampados de acero están unificadas y reunidas en las tablas 203, 204, 205.

Estos aceros están unificados en la tabla **UNI 673-674** (que da además indicaciones para efectuar los ensayos) y clasificados como el resumen de la tabla 206 (pág. 541).

Cuando los aceros de calidad, previamente seleccionados, se han de emplear para estampación de piezas normalizadas o recocidas, teniendo las características fijadas en la tabla **UNI 3986** (véase la tabla 207), se requieren características diferentes especificadas en la tabla **UNI 3983** (tabla 207, pág. 541).

Las piezas estampadas con los aceros **UNI 3983** tienen las características unificadas en las tablas **UNI 3985** y **3986,** resumidas en la tabla 208.

Aceros simples en productos laminados en caliente (perfiles, barras, grandes planchas).

Están también unificadas las características de los aceros laminados, como indica la tabla 209.

La unificación 743-45 se refiere a las calidades de acero simple empleadas para laminados en caliente.

Se indican los métodos de ensayos, las condiciones de aceptación, etc. (UNI 743-45).

Entre los laminados, tienen especial importancia los redondos para roblones remachados en caliente (UNI 4005) como puede verse en la tabla 210.

Semejantes a los laminados son los **estirados.**

Estos productos tienen un acabado superficial mucho mejor que los laminados y los forjados; por otra parte, no habiendo sufrido el trabajo en caliente de los laminados y forjados, presentan más homogeneidad en sus secciones, estando privados de la capa superficial, más o menos gruesa, de material que, al contacto del aire o de los productos de la combustión, en caliente, ha experimentado una alteración (oxidación, descarburación, etcétera).

La tabla **UNI 3596** fija las características de los aceros para barras estiradas de uso corriente transcritas en la tabla 211.

En la tabla 212 se transcriben las características de los aceros para tubos sin soldadura **(UNI 663).**

En las tablas 213 y 214 se describen finalmente las características de flejes de acero, laminados en caliente y en frío.

Acero de elevado límite de fluencia en productos laminados en caliente.

Ocurre muchas veces que, partiendo de semifabricados, perfiles, barras o grandes planchas, se han de producir piezas mecánicas que tengan determinadas características de resistencia a la tracción, con correspondencia especial a la fluencia. Para tales piezas mecánicas se emplean precisamente aceros llamados de elevado límite de fluencia, que recientemente han sido parcialmente unificados de modo suficiente.

Las tablas **UNI 3543** y **3544** corresponden a los productos con espesor o diámetro hasta 50 mm, obtenidos por laminación en caliente de las dos calidades de acero indicadas en la tabla 215.

La tabla 3543 corresponde a los productos indicados en el título, especiales; la 3544 corresponde a los estudiados especialmente para estructuras soldadas. Las características mecánicas fijadas en ambas tablas son idénticas; pero en la tabla 3544 se fija el análisis químico de los aceros para estructuras soldadas, análisis que aquí no interesa, por lo que no se ha transcrito.

En la tabla se fijan las condiciones de admisión, normas para los ensayos, etcétera.

b) **Para fundir.** Son los aceros empleados corrientemente para la fabricación de piezas mecánicas mediante fusión.

Sin embargo, muchas veces se requieren características mecánicas especiales y en tales casos no se pueden utilizar los aceros corrientes al carbono, sino los especiales (pág. 553).

Los aceros corrientes al carbono están clasificados en las tablas **UNI T 671-672** y **UNI 3158,** casi idéntica a la anterior.

Los elementos fundamentales de estas tablas están transcritos en la tabla 216 (pág. 546).

Aceros al carbono para fundir con características magnéticas especiales

La tabla **UNI 3596** fija la inducción magnética en función de los amperios-vueltas por metro, para los aceros **Aq 38 UNI 3595** y **Aq 45 UNI 3595,** y da las normas para los ensayos. Dado que esta tabla interesa exclusivamente para construcciones electromecánicas no se transcriben los datos correspondientes.

c) **Planchas de acero.** La unificación de las planchas las divide en *planchas de acero simple de espesor ≥ 4 mm, chapas negras recocidas de acero simple, laminadas en caliente, con espesor de 0,6 a 4 milímetros y chapa de acero simple especial, de espesor de 0,3 a 4 mm, exclusive, para embutir en frío.*

De las primeras, aunque estén divididas en planchas de acero comerciales, corrientes y de calidad, no interesa de modo especial la composición química por cuanto estas planchas se emplean en estructuras menos resistentes a esfuerzos, y dado su espesor no se utilizan nunca en prensas de embutir. Para las chapas que, por su pequeño espesor, se destinan muchas veces a sufrir la operación de embutido, son, en cambio, necesarias limitaciones rigurosas en su composición química, porque las impurezas dificultan el embutido; y la profundidad del embutido, aunque está influido en gran manera por el porcentaje de carbono, depende principalmente de la pureza del material, es decir, de la ausencia de los elementos que constituyen claramente impurezas (azufre, fósforo, etcétera) y del estado de la superficie.

Planchas de acero simple laminado en caliente, con espesor ≥ 4 mm. Las características están unificadas en la tabla UNI 815-816 que indica los ensayos, las condiciones de aceptación, las cláusulas que pueden exigirse al formular los pedidos (tabla 217). La tabla 817-818 indica las tolerancias correspondientes. Para las planchas de espesor superior a 4,75 mm para calderas de vapor, véase la tabla 218 (página 547).

Chapas negras recocidas de acero simple, laminadas en caliente, con espesor de 0,6 a 4 mm (excluido).

Unificadas en la tabla **UNI 2633.** En la tabla **UNI 2634** se indican las tolerancias correspondientes. Las características de estas chapas están reunidas en la tabla 219.

Chapas de acero simple, especial, para estampar en frío, con espesores de 0,3 a 4 mm (excluido).

En la tabla UNI 3145 se indican las características de los aceros, así como las prescripciones y los ensayos. En la tabla 3146, las medidas y las tolerancias correspondientes. En la tabla 220 se han resumido las características de los aceros para estas chapas (página 548).

Obsérvese que estas chapas se suministran en tres grados de acabado de la superficie. Las calidades mejores por sus características se suministran en dos grados **B** y **C:** las de características no tan buenas, que permiten estampación menos profunda, se suministran únicamente en el grado **A.**

Chapas magnéticas ordinarias.

Chapas empleadas para formar los circuitos magnéticos de máquinas y aparatos eléctricos. Están unificadas en la tabla UNI 3794, que indica las características magnéticas y mecánicas, las medidas, etc. Se han dividido en 4 clases **D, A, T, P.** Consúltese dicha tabla, que por su complejidad no se puede resumir ni reproducir y que, por otra parte, sólo interesa a los proyectistas de máquinas eléctricas.

La designación de una chapa de este tipo se hace así:

Chapa magnética clase y número convencional; UNI 3794; longitud × anchura; pérdida por kg; sigla.

Ejemplo: Chapa magnética D 30050 UNI 3974 2000 × 1000 P1 NAC.

Chapas estriadas de acero laminadas en caliente (fig. III, 2).

Unificadas en la tabla 3151.

Espesor: 3; 4; 5; 6; 7; 8; 10; 12 mm.

Formato desde 1000 × 5000 hasta 1600 × 6000.

Designación: chapa estriada espesor UNI 3151.

Ejemplo: Chapa estriada 6 UNI 3151.

Chapas estriadas de acero

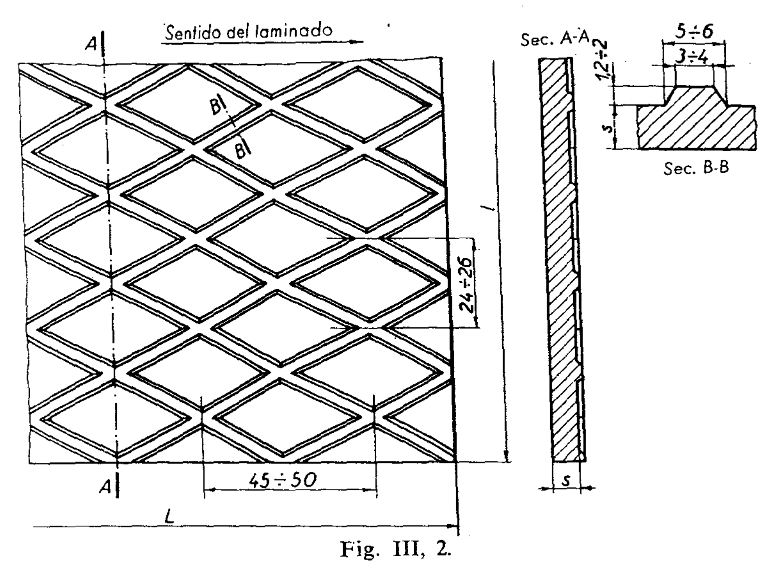


Fig. III, 2.

6. Aceros especiales

En las tablas de la 222 a la 235, páginas 550-560, se han seleccionado todos los aceros especiales unificados, que son:

Aceros especiales para cementar. Unificados en la tabla **UNI 2953**. En la tabla 221 se indican las características mecánicas y tecnológicas de cada tipo, así como las indicaciones generales de empleo.

Productos forjados de acero especial al carbono para carbocementar y tratar o para bonificar. Unificados en las tablas **UNI 3987** y **3988**, cuyos datos fundamentales se han reunido en la tabla 222.

Aceros especiales para bonificar. En la tabla 223 se han reunido los datos fundamentales de estos aceros, unificados en la tabla **UNI 2954.**

Aceros especiales para nitruración. Sólo hay tres tipos unificados (**UNI 3096**), y los datos correspondientes están reunidos en la tabla 224.

Aceros especiales para fundir resistentes en caliente a esfuerzos mecánicos. Estos aceros, que tienen una elevada resistencia mecánica aun a temperaturas próximas a los 400° C, están unificados en la tabla **UNI 3608,** cuyos datos fundamentales se han recogido en la tabla 225.

Aceros especiales para fundir, resistentes al calor, al desgaste y a la corrosión. Es el grupo de aceros llamados corrientemente *inoxidables*, a cuya unificación parcial están dedicadas las tablas **UNI 3159, 3160, 3161** y **4047,** y cuyos datos fundamentales se han recogido en las tablas 226 y 227.

Aceros para herramientas. Los numerosos aceros para herramientas se han unificado en parte en la tabla experimental **UNI 2955** (edición 1957). Los datos para los tratamientos y las características generales de empleo están recogidos en la tabla 228. No se ha de olvidar, sin embargo, que en los modernos mecanizados son de uso frecuente para las herramientas las aleaciones duras (*widia, stellite,* etc.) las cuales, aunque raramente, pueden también emplearse en pequeñas piezas mecánicas de gran dureza y resistencia (por ejemplo, cuchillos de balanza).

Aceros para muelles. Se han unificado recientemente en una tabla experimental (**UNI 3546**). Los datos fundamentales, así como las indicaciones específicas de empleo, están reunidas en la tabla 229.

Aceros en barras estiradas con características controladas. Se ha señalado la importancia que tienen en las construcciones mecánicas modernas los aceros con estructuras y características controladas. Estos materiales garantizan que, observando estrictamente las normas de tratamiento expuestas detalladamente por el fabricante, se obtienen exactamente las características anunciadas.

Se han unificado (**UNI 3597**) varios aceros al carbono, ordinarios y especiales; los datos correspondientes están reunidos en la tabla 230. Se observará al examinar esta tabla, que estos aceros de características controladas, sólo se suministran en barras estiradas, en estado crudo, recocido, normalizado o bonificado.

Aceros especiales para remaches. Para la fabricación de remaches se necesitan aceros de características especiales de resistencia y mecanizado. Están unificados en la tabla experimental **UNI S 114:** algunos datos de resistencia y condiciones de entrega (normalizado, bonificado, estirado, recocido) se han reunido en la tabla 231.

Aceros especiales para cojinetes de rodamiento. Para la fabricación de cojinetes de rodamiento se han de emplear aceros de especial dureza. Hay tres tipos de acero unificados en la tabla **UNI 3097;** algunos de cuyos datos están recogidos en la tabla 233.

Aceros especiales para estructuras soldadas. Se han unificado en la tabla **UNI S 116;** algunos datos fundamentales están recogidos en la tabla 233.

Aceros para fundir de elevadas características mecánicas. Ya se han mencionado en la página anterior. Los cinco tipos unificados (**UNI 4010**) tienen las características indicadas en la tabla 234.

Aceros especiales para válvulas y piezas de motores de combustión interna. La construcción de las válvulas y asientos de las mismas para motores de combustión interna exige materiales de elevadas características de resistencia al calor y a la oxidación. En la tabla **UNI 3992** se han unificado cuatro tipos de aceros de dichas características, y sus datos fundamentales están recogidos en la tabla 235.

Subdivisión y designación de los aceros de clase A		
Aceros comerciales	**Definición.**	No hay fijación de límites en su composición química, ni en su resistencia mecánica: se emplean en estado bruto de laminación (sin sufrir tratamiento térmico alguno).
	Designación.	Letra **A** seguida de **00**, de la sigla UNI y del número de la tabla correspondiente (en la cual se fijan los empleos de cada tipo de acero).
	Ejemplo.	**A 00 UNI 1743:** significa: acero ordinario al carbono, de tipo comercial unificado en la tabla 1743, de la cual se deduce que su empleo normal es la fabricación de perfiles, laminados en caliente.
Aceros ordinarios	**Definición.**	No hay fijación de límites en su composición química: en cambio hay prescripciones sobre la resistencia mecánica, que sirve de base para caracterizarlos: se emplean en estado bruto de laminación, sin sufrir tratamientos térmicos, pudiéndose someter únicamente a un tratamiento de normalizado.
	Designación.	Letra **A**, seguida de un número que indica la carga de rotura por tracción, de la sigla UNI y del número de la tabla correspondiente.
	Ejemplo.	**A 42 UNI 815:** significa: acero ordinario al carbono, de tipo corriente, con carga de rotura de 42 kg/mm², unificado en la tabla UNI 815 (de la cual se deduce que su empleo normal es para chapas laminadas en caliente, de espesor igual o superior a 4 mm).
Aceros de calidad	**Definición.**	Se prescriben límites en su composición química en cuanto a los porcentajes acumulativos de azufre y fósforo (y, para empleos especiales, también de otros elementos); hay prescripciones para la resistencia mecánica, sobre la cual se basa su clasificación; se emplean en estado bruto de laminación, pero pueden someterse a un tratamiento de normalizado y, en casos particulares de empleo, también de temple.
	Designación.	Letra **Aq**, seguida de un número que representa la carga de rotura por tracción, de la sigla UNI y del número de la tabla correspondiente.
	Ejemplo.	**Aq 42 UNI 743:** significa: acero ordinario al carbono, de calidad, con carga de rotura de 42 kg/mm², unificado en la tabla UNI 743, de la cual se deduce que se emplea para la fabricación de perfiles, laminados en caliente.

Subdivisión de los aceros de clase B

1.ª categoría. Aceros al carbono especiales (no aleados), teniendo bien definidas, tanto su composición química como sus características mecánicas, después del adecuado tratamiento térmico.

1.er grupo. Aceros al carbono de construcción: para empleo en construcciones mecánicas después del conveniente tratamiento térmico.

Designación. Letra **C,** seguida de un número que indica el porcentaje medio de carbono multiplicado por 100, de la sigla **UNI** y del número de la tabla correspondiente.

Observación. En la designación de todos los aceros, si el número que indica el porcentaje de carbono multiplicado por 100, es mayor que 20, se redondea a 0; 2; 5; 8; con la conocida regla del redondeo: si es inferior a 20, se redondea a la unidad.

Ejemplos. C 9 UNI 2953: significa: acero al carbono especial, de construcción, con porcentaje de carbono 0,09 % de características mecánicas y de empleo indicadas en la tabla UNI 2953. Otros ejemplos: **C 98 UNI 3595; C 30 UNI 2954;** etc.

2.º grupo. Aceros al carbono para herramientas.

Designación: letras **UC,** seguidas de un número que indica el porcentaje medio de carbono, multiplicado por 100, de la sigla **UNI** y del número de la tabla correspondiente.

Ejemplo. UC 100 UNI 2955 S: significa: acero al carbono especial, para herramientas, con un porcentaje medio de carbono de 1 %, y al que corresponde la tabla experimental UNI 2955.

2.ª categoría. Aceros aleados, con una proporción de cada elemento aleante menor del 5 % y, para los elementos siguientes superior a los límites abajo indicados (dado que por debajo de estos límites se consideraría impureza):

Manganeso	≥ 1 %
Silicio	≥ 0,5 %
Níquel	≥ 0,5 %
Cobre	≥ 0,35 %
Cromo	≥ 0,25 %
Molibdeno	≥ 0,1 %
Vanadio	≥ 0,05 %

La suma de los contenidos de azufre y fósforo no ha de ser superior al 0,06 %. La composición química y las características mecánicas están bien definidas.

1.er grupo. Aceros aleados de construcción: para empleo en construcciones mecánicas, después del conveniente tratamiento térmico.

Designación: un número que indica el porcentaje de carbono, multiplicado por ciento, seguido de un grupo de letras que indican los elementos químicos aleados, que caracterizan el acero considerado y de un grupo de cifras unidas cada uno de los cuales indica el producto redondeado en unidades por ciento del contenido del elemento químico predominante multiplicado por uno de los factores siguientes: 4 para el cobalto-cromo-manganeso-níquel-silicio; 10 para el aluminio-fósforo-molibdeno-plomo-cobre - tantalio - titanio-vanadio-tungsteno-circonio-azufre. Sigue como siempre la sigla UNI y el número de la tabla correspondiente.

Observación. En el grupo de letras que indica los elementos aleados, cada elemento se indica con su símbolo químico, con las siguientes excepciones:

Elemento	Símbolo químico	Símbolo metalúrgico	Elemento	Símbolo químico	Símbolo metalúrgico
Aluminio	Al	A	Niquel	Ni	N
Nitrógeno	N	Az	Silicio	Si	S
Cobalto	Co	K	Estaño	Sn	E
Cromo	Cr	C	Titanio	Ti	T
Magnesio	Mg	G	Cinc	Zn	Z
Manganeso	Mn	M	Azufre	S	F
Molibdeno	Mo	D	—	—	—

Ejemplos: 40 C4 UNI 2954: significa: acero aleado al cromo, con un 0,4 % de carbono y 1 % de cromo, unificado en la tabla UNI 2954; de la cual se deduce que se trata de un acero para bonificar con: C=0,36 ÷ 0,43 %; Mn=0,06 ÷ ÷ 0,08 %; Si≤0,35 %; Cr=0,8 ÷ 1,1 %.

15 NC 11 UNI 2953 significa: acero al cromo-níquel con un 0,15 % de carbono y porcentaje de níquel de un 2,75 % y por lo menos 0,25 % de cromo. De la tabla UNI 2953 se deduce que se trata de un acero para cementar y en la misma se señalan los límites dentro de los cuales puede variar su composición química.

35 NCD 15 UNI 2954 es un acero al cromo-níquel-molibdeno, con 0,35 % de carbono, 3,75 % de níquel y un mínimo de 0,25 % de cromo y 0,1 % de molibdeno. En la tabla UNI 2954 se indican también para este acero los límites de su composición química y se especifica que es un acero para bonificar.

Subdivisión de los aceros de clase B (continuación)		
2.ª categoría (continuación)	**2.° grupo.**	**Aceros aleados para herramientas.** Se designan con una letra **U,** seguida del número que indica el porcentaje medio de carbono multiplicado por 100, luego un grupo de letras que indica los elementos aleados que caracterizan el acero considerado: sigue un grupo de una o más cifras juntas cada uno de los cuales representa el producto del porcentaje de cada elemento principal por el factor correspondiente (véase el grupo anterior), y, finalmente, la sigla UNI y el número de la tabla correspondiente. **Ejemplos: U 40 W 20 UNI 2955 S** significa: acero aleado al tungsteno para herramientas, con 0,40 % de carbono, 2 % de tungsteno. En la tabla experimental 2955 se señalan los límites de su composición química. **U 50 WC 20 UNI 2955 S** significa: acero aleado al tungsteno-cromo, para herramientas, con un 0,5 % de carbono y 2 % de tungsteno. En la tabla **UNI 2955 S** se hallan los límites de su composición química y el contenido en cromo. **U 52 ND 65 UNI 2955 S** significa: acero aleado al níquel-molibdeno para herramientas, con 0,52 % de carbono, con 1,5 % de níquel y 0,5 % de molibdeno. En la tabla UNI 2955 S se indican los límites de sus varios componentes, carbono, manganeso, cromo, molibdeno, níquel, silicio. **U 40 NDC 165 UNI 2955 S** significa: acero aleado al níquel-molibdeno-cromo para herramientas, con 0,4 % de carbono, 4 % de níquel, 0,50 % de molibdeno. Como de costumbre, en la tabla UNI 2955 S se indican los límites de las proporciones de los varios elementos que lo componen.
3.ª categoría. Aceros muy aleados en los que un elemento, por lo menos, habrá de tener un contenido superior al 5 %: composición química y características mecánicas, después del conveniente tratamiento térmico, bien definidas.	**1.er grupo.**	**Aceros muy aleados para construcción.** Comprende los aceros resistentes a la corrosión (inoxidables), los aceros resistentes al calor (refractarios) y los aceros de elevado límite de elasticidad en caliente. **Designación:** letra **X** seguida de un número que indica el porcentaje medio de carbono multiplicado por 100; a continuación un grupo de los símbolos de los elementos característicos del acero considerado, un grupo de cifras unidas cada una de las cuales indica el porcentaje del respectivo elemento aleante, redondeado al número entero immediatamente inferior: finalmente, la sigla **UNI** seguida del número de la correspondiente tabla de unificación.
	2.° grupo.	**Aceros muy aleados para herramientas.** Comprende los aceros semirrápidos y rápidos. **Designación:** letras **UX,** seguidas de un número que indica el porcentaje medio de carbono multiplicado por 100 y de un grupo de símbolos de los elementos característicos del acero considerado: siguen un grupo de cifras unidas que indican respectivamente el porcentaje del contenido del componente principal o de cada uno de los componentes redondeado al entero inmediatamente inferior, la sigla **UNI** y el número de la tabla correspondiente. **Ejemplos: UX 75 W 18 UNI 2955 S** significa: acero muy aleado al tungsteno para herramientas con porcentaje de carbono de un 0,75 % y con 18 % de tungsteno: en la tabla 2955 S se indican los contenidos de manganeso, cromo, vanadio, etc. **UX 80 WK 185 UNI 2955 S** significa: acero muy aleado al tungsteno-cobalto con el 18 % de tungsteno y el 5 % de cobalto. Para los porcentajes de todos los componentes consúltese la tabla 2955 S. **Observación.** Obsérvese que en la designación de los aceros de la 3.ª categoría, el porcentaje de los elementos característicos no se multiplica por factor alguno.

Tabla 201

Tabla resumen de los símbolos de los aceros unificados según la tabla UNI 3344										
Clase		A Aceros designados basándose en sus características mecánicas			B Aceros designados basándose en sus composiciones químicas características					
Categoría		I Aceros al carbono ordinarios			I Aceros al carbono especiales		II Aceros aleados (proporción de cada elemento aleado inferior al 5 %)		III Aceros muy aleados (con un elemento aleado, por lo menos, con una proporción superior al 5 %)	
Grupo		1.º Aceros comerciales	2.º Aceros corrientes	3.º Aceros de calidad	I Aceros de construcción	II Aceros para herramientas	I Aceros de construcción	II Aceros para herramientas	I Aceros de construcción	II Aceros para herramientas
Símbolos	a) Inicial que indica el matiz	**A**	**A**	**Aq**	**C**	**UC**	—	**U**	**X**	**UX**
	b) Número indicativo	**00**	Carga **R** de rotura a tracción en kg/mm²	Carga **R** de rotura a tracción en kg/mm²	Porcentaje de carbono × 100	Porcentaje de carbono × 100	Porcentaje de carbono × 100	Porcentaje de carbono × 100	Porcentaje de carbono × 100	Porcentaje de carbono × 100
	c) Letras que indican los elementos aleados característicos	—	—	—	—	—	Símbolos metalúrgicos de los elementos aleados característicos	Símbolos metalúrgicos de los elementos aleados característicos	Símbolos metalúrgicos de los elementos aleados característicos	Símbolos metalúrgicos de los elementos aleados característicos
	d) Números que indiquen el porcentaje de los elementos principales del acero	—	—	—	—	—	Porcentaje de los elementos aleados principales × 4 o bien × 10	Porcentaje de los elementos aleados principales × 4 o bien × 10	Porcentaje de los elementos principales × 1	Porcentaje de los elementos principales × 1
Ejemplos		**A 00**	**A 42**	**Aq 42**	**C 9** **C 30** **C 98**	**UC 100**	**40 C 4** **15 NC 11** **35 NCD 15**	**U 40 W 20** **U 50 WC 20** **U 52 ND 65** **U 40 NDC 165**	**X 15 C 13** **X 12 CA 12** **X 10 CN 1808** **X 15 CNF 1808**	**UX 75 W 18** **UX 80 WV 18** **UX 80 WK 185**

Tabla 202

Designación **SAE** de los aceros Significado del primer número del símbolo					
N.º	Tipo de acero	N.º	Tipo de acero	N.º	Tipo de acero
1	al carbono	**4**	al molibdeno	**7**	—
2	al níquel	**5**	al cromo	**8**	—
3	al níquel-cromo	**6**	al cromo-vanadio	**9**	al silicio-manganeso

Cuadro de las formas unificadas de las barras redondas y medio redondas laminadas y forjadas

Tabla 203

	Sección	Nombre y designación	Tablas UNI y medidas en mm
Alambres de acero	d	Alambres de acero d UNI 467	UNI 467 desde d=0,10 hasta d=10
		Ídem para cables con R 60 d UNI 1477	UNI 1477 desde d=0,31 hasta d=5
		Ídem para cables con R 120 d UNI 1479	UNI 1479 desde d=0,31 hasta d=5
		Ídem para cables con R 150 d UNI 1482	UNI 1482 desde d=0,20 hasta d=5
		Ídem para cables con R 180 d UNI 1485	UNI 1485 desde d=0,20 hasta d=2,8
		Alambres redondos para resortes, estirados crudos	
Bloques forjados de sección circular	b, H, h, b, D	Bloques de acero forjados por estampado para mecanizar en caliente, de sección redonda Bloque D × H UNI 4050	UNI 4050 desde 200 × 170 hasta 600 × 530

	Sección	Nombre y designación	Tablas UNI y medidas en mm
Redondos de acero	d	Redondo de acero estirado o torneado con tolerancia h 11 d UNI 468	UNI 468 desde d=1 hasta d=90
		Ídem con tolerancia h 9 d UNI 469	UNI 469 desde d=1 hasta d=60
		Ídem con tolerancia h 8 d UNI 3113	UNI 3113 desde d=1 hasta d=60
		Redondos de acero laminados en caliente para bulones, roblones y remaches estampados en frío Redondo d UNI 3541	UNI 3541 desde d=5,2 hasta d=26
		Ídem para resortes Redondo d UNI 3871	UNI 3871 desde d=7 hasta d=50
Barras redondas	d	Barras redondas de acero laminadas en caliente d UNI 706	UNI 706 desde d=5 hasta d=180
	a, d, a, D	Ídem forjadas Barra D UNI 3029	UNI 3029 desde D=20 hasta D=600
Barras de media caña	s, d, $s=\frac{d}{2}$	Barras medio redondas de acero, laminadas en caliente, regulares d UNI 828	UNI 828 desde d=8 hasta d=75
	s, c	Ídem rebajadas c×s UNI 829	UNI 829 desde 12 × 4 hasta 80 × 30

Cuadro de las formas unificadas de las barras cuadradas, planas, hexagonales y octogonales laminadas y forjadas **Tabla 204**

Grupo	Sección	Nombre y designación	Tablas UNI y medidas en mm
Barras cuadradas		Acero cuadrado estirado, con tolerancia h 11 s UNI 472	UNI 472 desde s=3 hasta s=80
Barras cuadradas		Barras cuadradas laminadas en caliente s UNI 709	UNI 709 desde s=5 hasta s=150
Barras cuadradas		Barras cuadradas de acero forjadas Barra D UNI 3030	UNI 3030 desde D=20 hasta D=498
Barras cuadradas		Bloques de acero forjados por estampado para mecanizado en caliente, de sección cuadrada y rectangular Bloque H×l×L UNI 4049	UNI 4049 desde 220×200×200 hasta 630×900×1200
Barras y flejes planos		Barras de acero planas laminadas en caliente l×s UNI 713	UNI 713-719 desde 10×4 hasta 200×60
Barras y flejes planos		Flejes de acero laminados en caliente l×s UNI 720	UNI 720-723 desde 220×7 hasta 1000×50
Barras y flejes planos		Barras planas redondeadas de acero laminadas en caliente a×s UNI 724	UNI 724 desde 40×12 hasta 120×35
Barras y flejes planos		Barras planas de acero estiradas con tolerancia h 11 l×s UNI 757	UNI 757-759 desde 4×2 hasta 70×25
Barras y flejes planos		Flejes de acero sencillos laminados en caliente l×s UNI 3144	UNI 3144 desde 10×1 hasta 500×6
Barras y flejes planos		Barras planas de acero forjadas H×L UNI 3147	UNI 3147 desde H=15 hasta H=498
Barras planas		Barras planas lisas de acero laminadas en caliente para muelles de ballesta y de amortiguamiento Barra l×s UNI 3960	UNI 3960 desde 14×4 hasta 150×14,5
Barras planas		Ídem de ejes de ferrocarriles y de tranvías Barra l×s UNI 3962	UNI 3962 desde 70×6 hasta 140×14
Barras planas		Barras planas con regata de acero laminado en caliente para muelles de ballesta de ejes de ferrocarriles y tranvías Barra l×s UNI 3961	UNI 3961 desde 75×10 hasta 130×15
Barras hexagonales		Acero hexagonal estirado con tolerancia h 11 s UNI 470	UNI 470 desde s=3 hasta s=80
Barras hexagonales		Ídem con tolerancia h 9 s UNI 471	UNI 471 desde s=3 hasta s=10
Barras hexagonales		Barras hexagonales de acero laminadas en caliente s UNI 708	UNI 708 desde s=9 hasta s=83
Barras hexagonales		Barras hexagonales de acero laminadas en caliente Barra D UNI 3031	UNI 3031 desde D=20 hasta D=329
Barras octogonales		Barras octogonales de acero laminadas en caliente Barra a UNI 2508	UNI 2508 desde a=10 hasta a=50
Barras octogonales		Barras octogonales de acero forjadas Barra D UNI 3032	UNI 3032 desde D=20 hasta D=329

Tabla 205

Cuadro de las formas unificadas de los perfiles de acero laminados en caliente

	Sección	Nombre y designación	Tablas UNI y medidas en mm
Perfiles en L		Perfiles en L de acero laminados en caliente de lados iguales y cantos vivos l×s UNI 737	UNI 737 desde 15×3 hasta 60×8
Perfiles en L		Ídem l×s UNI 821	UNI 821-823 desde 15×3 hasta 200×24
Perfiles en L		Ídem de lados desiguales l×l₁×s UNI 738	UNI 738 desde 20×12×4 hasta 50×30×7
Perfiles en L		Ídem l×l₁×s UNI 824	UNI 824-827 desde 20×30×4 hasta 100×200×18
Perfiles en L		Perfiles en L con nervio de acero, laminados en caliente h×b×s UNI 1080	UNI 1080-1083 desde 80×55×7 hasta 340×100×16
Perfiles de barras planas		Barras planas de acero laminadas en caliente, con nervio asimétrico h×s UNI 3994	UNI 3994 desde 160×7 hasta 430×20,5
Perfiles en T		Perfiles en T de acero laminados en caliente, serie normal b=h; b UNI 731 o bien T b	UNI 731-732 desde b=20 hasta b=100
Perfiles en T		Ídem b=2 h b UNI 733 o bien T b×h	UNI 733 b=60 y b=180
Perfiles en T		Ídem serie especial b UNI 734 o bien T s b	UNI 734 b=80 b=100 b=150
Perfiles en T		Ídem con cantos vivos b UNI 739 o bien T v b	UNI 739-740 desde b=20 hasta b=100

	Sección	Nombre y designación	Tablas UNI y medidas en mm
Perfiles en doble T		Perfil en doble T de acero laminado en caliente, serie normal h UNI 725	UNI 725-726 desde h=80 hasta h=600
Perfiles en U		Perfiles en U de acero laminados en caliente, serie normal h UNI 727	UNI 727-728 desde h=30 hasta h=300
Perfiles en U		Ídem serie especial h UNI 729	UNI 729-730 desde h=25 hasta h=250
Perfiles en U		Ídem serie normal reforzada h×s UNI 1086	UNI 1086-1087 desde 180×8 hasta 300×12
Perfiles en Z		Perfiles en Z de acero laminados en caliente h×UNI 735	UNI 735 desde h=30 hasta h=60
Perfiles en Z		Ídem con cantos vivos y bases iguales h UNI 741	UNI 741 desde h=20 hasta h=40
Perfiles en Z		Ídem con cantos vivos y bases desiguales h UNI 742	UNI 742 desde h=20 hasta h=50
Perfiles Zorés	de flancos curvos de flancos rectos	Perfiles Zorés de acero laminados en caliente h UNI 736	UNI 736 h=90 h=110 h=120

Tabla 206

Aceros sencillos ordinarios para forja

(De UNI 673-674)

Tipo	Designación convencional de la calidad del acero	Ensayo de tracción: Carga de rotura R kg/mm²	Alargamiento A_5 mínimo %	Alargamiento A_{10} mínimo %	Límite de elasticidad E mínimo kg/mm²	Ensayo de resiliencia K mínimo kgm/cm²	Ensayos tecnológicos	Análisis químico: Carbono (a título indicativo)	Impurezas toleradas %	Aplicaciones
Comercial	A 00 UNI 673	—	—	—	—	—	doblado	—	—	Trabajos corrientes y piezas poco cargadas.
Ordinario	A 37 UNI 673	≥ 37	24	20		8	—	—	—	Piezas forjadas poco cargadas y que no se han de bonificar.
	A 50 UNI 673	≥ 50	17	14		4	—	—	—	Como las anteriores pero moderadamente cargadas.
De calidad	Aq 34 UNI 673	34 ÷ 42	30	25	19	15	soldadura	0,12		Órganos poco cargados: fabricados fácilmente por procedimientos plásticos y soldadura.
	Aq 42 UNI 673	42 ÷ 50	24	20	23	10	—	0,25	S ≤ 0,06	Árboles, ganchos, órganos moderadamente cargados, tornillería corriente.
	Aq 50 UNI 673	50 ÷ 60	22	18	27	7	—	0,30	P ≤ 0,06 S + P	Cubos y tornillos, engranajes poco cargados, tornillería, etcétera.
	Aq 60 UNI 673	60 ÷ 70	17	14	30	5	—	0,42	≤ 0,10	Engranajes, chavetas, pasadores, tornillería de calidad.
	Aq 70 UNI 673	70 ÷ 85	12	10	35	4	—	0,60		Piezas susceptibles de temple: chavetas, pasadores, engranajes, etc.

Tabla 207

Aceros al carbono para forja para productos normalizados o recocidos

(De UNI 3983-3986)

Designación convencional	Análisis químico: C %	Mn %	Si %	Impurezas %	Espesor de las piezas que se han de fabricar mm	Características mecánicas – Ensayo de tracción: Carga de rotura R kg/mm²	Alargamiento ApS mínimo %	Límite de elasticidad E en kg/mm²	Ensayo de resiliencia K en kgm/cm²	Calidad de los productos forjados que se han de obtener
Aq 34 UNI 3983	0,10	0,45	0,40		< 300	≤ 42	30	21	17	Aq 34 UNI 3986
					300 ÷ 500	≤ 44	30	22	17	
Aq 42 UNI 3983	0,20	0,55	0,40		< 100	44 ÷ 52	26	27	14	Aq 42 UNI 3986
					100 ÷ 300	46 ÷ 54	26	28	14	
				S ≤ 0,035	300 ÷ 500	47 ÷ 55	25	29	12	
Aq 50 UNI 3983	0,30	0,65	0,40		< 100	52 ÷ 60	23	31	8	Aq 50 UNI 3986
				P ≤ 0,035	100 ÷ 300	54 ÷ 62	23	32	8	
					300 ÷ 500	56 ÷ 64	22	33	7	
Aq 60 UNI 3983	0,40	0,75	0,40	S+P ≤ 0,060	< 100	62 ÷ 70	19	36	5	Aq 60 UNI 3986
					100 ÷ 300	65 ÷ 73	19	37	5	
					300 ÷ 500	68 ÷ 76	17	39	4	
Aq 70 UNI 3983	0,50	0,75	0,40		< 100	75 ÷ 85	13	42	3	Aq 70 UNI 8986
					100 ÷ 300	78 ÷ 88	11	44	2	

Productos forjados de acero ordinario (UNI 3985)

Las normas generales de aceptación de estos productos están contenidas en las tablas UNI 3984.
La tabla UNI 3985 contiene las características de las piezas forjadas obtenidas de lingotes o semifabricados de acero al carbono UNI 673, suministrados en **bruto** para los aceros comerciales y ordinarios, **normalizados** para los aceros de calidad: en cambio en la tabla 3986 se exponen las características de los productos forjados correspondientes a los aceros UNI 3983, todos ellos normalizados y recocidos.

Características de los productos forjados de acero ordinario UNI 673

Calidad del acero	Espesor de los productos forjados mm	Ensayo de tracción R kg/mm²	Ensayo de tracción A_{p5} %	Ensayo de tracción S min kg/mm²	Ensayo de resiliencia K mínimo kgm/cm²	Análisis químico Impurezas %	Categoría del acero
A 00 UNI 3985	hasta **100**	—	—	—	—	—	comercial
A 37 UNI 3985	hasta **40** entre **40** y **100** » **100** y **300**	≥ 37	24 24 22	—	8 7 5	—	corriente
A 50 UNI 3985	hasta **40** entre **40** y **100** » **100** y **300**	≥ 50	17 17 15	—	4 3 3	—	corriente
Aq 34 UNI 3985	hasta **40** entre **40** y **100** » **100** y **300**	34 ÷ 42	30 30 27	19	15 13 10	s ≤ 0,06 P ≤ 0,06 s + P ≤ 0,10	de calidad
Aq 42 UNI 3985	hasta **40** entre **40** y **100** » **100** y **300**	42 ÷ 50	25 25 22	23	10 8 6		
Aq 50 UNI 3985	hasta **40** entre **40** y **100** » **100** y **300**	50 ÷ 60	22 22 20	27	7 6 4		
Aq 60 UNI 3985	hasta **40** entre **40** y **100** » **100** y **300**	60 ÷ 70	17 17 15	30	5 4 3		
Aq 70 UNI 3985	hasta **40** entre **40** y **100** » **100** y **300**	70 ÷ 85	12 12 11	35	4 3 2		

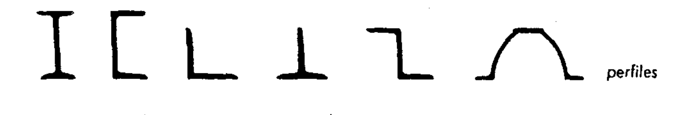
Características de los productos forjados de acero al carbono UNI 3983 (UNI 3986)

Calidad del acero	Espesor de los productos forjados mm	Características mecánicas de los productos forjados — Ensayo de tracción R kg/mm²	Ensayo de tracción A_{p5} min %	Ensayo de tracción S min kg/mm²	Ensayo de resiliencia K mínimo kgm/cm²
Aq 34 UNI 3986	hasta **40** entre **40** y **100** » **100** » **300** » **300** » **500**	34 ÷ 42	30 30 28 26	21 21 20 19	17 15 12 10
Aq 42 UNI 3986	hasta **40** entre **40** y **100** » **100** » **300** » **300** » **500**	42 ÷ 50	26 26 25 23	26 25 24 23	14 12 8 8
Aq 50 UNI 3986	hasta **40** entre **40** y **100** » **100** » **300** » **300** » **500**	50 ÷ 60	23 23 21 19	30 29 27 25	8 7 5 4
Aq 60 UNI 3986	hasta **40** entre **40** y **100** » **100** » **300** » **300** » **500**	60 ÷ 70	18 18 17 15	35 34 32 30	5 4 3 2
Aq 70 UNI 3986	hasta **40** entre **40** y **100** » **100** » **300**	70 ÷ 85	13 13 11	41 39 36	4 3 2

Tabla 209

(De UNI 743)

Acero sencillo en productos laminados en caliente


perfiles

barras

planos

La unificación 743-45 se refiere a las calidades de acero sencillo empleadas para la producción de laminados en caliente.
Se indican la forma de efectuar los ensayos, las condiciones de aceptación, etc.

Calidad acero	Ensayo de tracción				Ensayo de doblado		Ensayo de resiliencia K mín kgm/cm²	Aplicaciones
	R kg/mm²	Alargamiento		s mín kg/mm²	α°	Dmm		
		A5 mín %	A10 mín %					
A 00 UNI 743	≤ 50	—	—		90	4a	—	Partes de máquinas poco cargadas.
A 37 UNI 743	37 ÷ 45	25	20		180	0,5a	6	Usos corrientes.
Aq 34 UNI 743	34 ÷ 42	30	25	—	180	0	10	Partes de máquinas poco cargadas, pero que han de tener gran tenacidad.
Aq 42 UNI 743	42 ÷ 50	25	20	23	180	a para a ≦ 20 mm 2a para a > 20 mm	7	Partes de máquinas sometidas a cargas variables y choques.
Aq 50 UNI 743	50 ÷ 60	22	18	27	180	4a	4	Partes de máquinas sometidas a cargas elevadas y a desgaste (árboles, ejes de émbolos, engranajes, chavetas, etcétera)
Aq 60 UNI 743	60 ÷ 70	17	14	31	180	5a	3	Ídem cuando las cargas son muy fuertes y variables (tornillos sin fin, chavetas, árboles, etc.).

Tabla 210

Acero redondo laminado en caliente para la fabricación de roblones que se remachan en caliente (UNI 4005)

Tipo de acero	Ensayo de tracción				Impurezas %	Ensayo de doblado		Categoría acero
	R kg/mm²	S mín kg/mm²	Ap5 mín %			α	D	
			de 8 a 30 mm	entre 30 y 40 mm				
A 37 UNI 4005	37 ÷ 45		25	25	S ≤ 0,05 P ≤ 0,05 S + P ≤ 0,08	180°	0,5a	ordinario
Aq 39 UNI 4005	39 ÷ 47		30	30		180°	0	de calidad
Aq 44 UNI 4005	44 ÷ 52	27	24	21		180	1,5 a para a ≦ 20 mm 2 a para a > 20 mm	de elevado límite de elasticidad

En la tabla UNI 4005 está aún el acero Aq 34 UNI 4005, que se va a suprimir. En la tabla citada se indican también los otros ensayos a que se ha de someter el material.

Tabla 211

Acero ordinario al carbono en barras estiradas de uso corriente

(redondas, cuadradas, hexagonales, planas, etc.)

La tabla UNI 3596 se refiere a estas barras obtenidas de aceros al carbón ordinarios, en productos laminados (UNI 743 y UNI 3033), que se expenden en estado «crudo» o «recocido», y da instrucciones para efectuar los ensayos.

Designación y características (UNI 3596)

Estirado crudo			Estirado recocido		
Designación del tipo de acero	Ensayo de tracción R kg/mm²	Ensayo de tracción A_{p5} mín %	Designación del tipo de acero	Ensayo de tracción R kg/mm²	Ensayo de tracción A_{p5} mín %
A 00 UNI 3596 crudo	sin garantías		A 00 UNI 3596 recocido	sin garantías	
A 34 UNI 3596 crudo (sólo redondos d < 15 mm)	sin garantías		A 34 UNI 3596 recocido (sólo redondos d < 15 mm)	45	25
A 37 UNI 3596 crudo	sin garantías		A 34 UNI 3596 recocido	50	22
Aq 34 UNI 3596 crudo	40	8	Aq 34 UNI 3596 recocido	42	28
Aq 42 UNI 3596 crudo	45	7	Aq 42 UNI 3596 recocido	50	22
Aq 50 UNI 3596 crudo	52	6	Aq 50 UNI 3596 recocido	60	20
Aq 60 UNI 3596 crudo	62	5	Aq 60 UNI 3596 recocido	70	16
Aq 70 UNI 3596 crudo (sólo redondos d < 15 mm)	75	4	Aq 70 UNI 3596 recocido (sólo redondos d < 15 mm)	85	11

Tabla 212

Acero para tubos sin soldadura (De UNI 663)

Tipo de tubos y calidades del acero	Características mecánicas R kg/mm²	S kg/mm²	A_{p5} mm %	A_{p10} mín %	Aplicaciones
Comerciales A 00 UNI 663	—	—	—	—	Tubos lisos de empleo corriente y diverso, para canalones, para protección de líneas eléctricas, para tubos empotrados, etc.
De calidad Aq 35 UNI 663	35 ÷ 45	21	28	23	Tubos para presiones bajas y medias, como tubos de calderas, botellas de gas, serpentines, etc.
Aq 45 UNI 663	45 ÷ 55	24	23	19	Tubos para altas presiones, botellas de gas a elevada presión, cuerpos cilíndricos de calderas, colectores, etc.
Aq 55 UNI 663	55 ÷ 65	29	17	14	Cuerpos cilíndricos de calderas de alta presión, tubos para presiones elevadas, postes tubulares, tubos para perforaciones, etc.
Aq 65 UNI 663	65 ÷ 75	33	12	10	Para emplear únicamente en casos de absoluta necesidad. Tubos para perforaciones, tubos especiales para construcciones mecánicas, cilindros para prensas, prensas hidráulicas, etc.

Tabla 213

Flejes de acero sencillo laminados en caliente

En la tabla 3143 se indican las características de los aceros, las normas para los ensayos, las condiciones eventuales que se pueden solicitar al formular el pedido, etc.

Características de los aceros sencillos de los flejes laminados en caliente (UNI 3143)

Calidad acero	Ensayo de tracción		Ensayo de doblado		Análisis químico	Categoría del acero
	Carga de rotura R kg/mm²	Alargamiento A mínimo %	α	D	Impurezas %	
A 00 UNI 3143	≤ 50	—	90°	4 a	—	comercial
A 34 UNI 3143	34 ÷ 42	22	180°	a	—	ordinario
A 37 UNI 3143	37 ÷ 45	20	180°	a	—	ordinario
Aq 34 UNI 3143	34 ÷ 42	25	180°	o	S ≤ 0,05 P ≤ 0,05 S + P ≦ 0,09	de calidad
Aq 42 UNI 3143	42 ÷ 50	20	180°	a		
Aq 50 UNI 3143	50 ÷ 60	18	180°	4 a		
Aq 60 UNI 3143	60 ÷ 70	14	90°	3 a		
Aq 70 UNI 3143	70 ÷ 85	10	90°	4 a		

Tabla 214

Flejes de acero al carbono laminados en frío

En la tabla 3351 se indican las calidades unificadas, los ensayos y las prescripciones correspondientes a estos flejes. En la tabla 3352 las tolerancias correspondientes.

Calidades de los flejes	Ensayo de tracción		Ensayo de embutido Erichsen		Ensayo de doblado			
					En probeta longitudinal		Sobre probeta transversal	
	Carga de rotura R kg/mm²	Alargamiento mínimo A %	Espesor mm	I_E mínimo mm	α	D mm	α	D
Crudo (duro)	≥ 60	—	—	—	—	—	—	—
Semicrudo	50 ÷ 62	—	—	—	—	—	—	—
Medio dulce	45 ÷ 52	6	—	—	90°	a	—	—
Dulce	36 ÷ 44	14	0,3 0,5 1 1,5	6,2 6,8 8 8,8	180°	a	90	a
Muy dulce	28 ÷ 38	28	0,3 0,5 1 1,5	7,3 8,3 10 11,1	180°	o	180°	a
Extra dulce para estampado profundo (embutido profundo)	28 ÷ 38	34	0,3 0,5 1 1,5	8,2 9,2 10,7 11,7	Para espesor ≦ 2 mm α = 2 × 180 D = o Para espesor > 2 mm α = 180° D = o			

Tabla 215

Acero de alto límite de fluencia en productos laminados en caliente (De UNI 3543)											
Tipo acero	R kg/mm²	Ensayo de tracción — Espesores — Hasta 8 mm		Entre 8 y 30 mm		Entre 30 y 50 mm		Ensayo de doblado a 180° — Espesores			Ensayo de resiliencia K kgm/cm²
		s mín kg/mm²	A_{p5} mín %	s mín kg/mm²	A_{p5} mín %	s mín kg/mm²	A_{p5} mín %	Hasta 5 mm D mm	Entre 5 y 20 mm D mm	Entre 20 y 50 mm D mm	
Aq 45 UNI 3543 UNI 3544	45 ÷ 55	30	21	28	24	27	21	a	2a	3a	10
Aq 52 UNI 3543 UNI 3544	52 ÷ 64	36	19	33	22	30	19	2a	2a	3a	8

Tabla 216

Aceros para moldeo (De UNI 671 y 3158)								
Designación convencional	Ensayo de tracción — R mín kg/mm²	A_{p5} mín %	S mín kg/mm²	K mínimo kgm/cm² — T 671	3158	Análisis químico Impurezas toleradas — T 671	3158	Categoría y aplicaciones
A 00 UNI T 671 e 3158	—	—	—	—	—	—	—	**Comercial.** Piezas fundidas sin características especiales (tornillos de sujeción).
A 38 UNI T 671 e 3158	38	20	—	—	(5)	—	—	**Ordinario.** Para fundir piezas de uso corriente, moderadamente cargadas, no sometidas a choques.
A 45 UNI T 671 e 3158	45	16	—	—	(4)	—	—	
A 52 UNI T 671 e 3158	52	12	—	—	(3)	—	—	
Aq 38 UNI T 671 e 3158	38	25	18	8	8	s ≤ 0,08	s ≤ 0,06	**De calidad.** Piezas fundidas de máquinas y órganos mecánicos para aplicaciones de más resistencia que las anteriores, sometidas a choques no muy fuertes.
Aq 45 UNI T 671 e 3158	45	22	22	5	6	P ≤ 0,06	P ≤ 0,06	
Aq 52 UNI T 671 e 3158	52	16	25	3	5	s + P ≤ 0,14	s + P ≤ 0,10	

Tabla 217

Chapas de acero sencillo, laminado en caliente con espesor ≧ 4 mm (De UNI 815)														
Calidad acero	Ensayo de tracción — R kg/mm²	Espesor de chapa en mm — de 4 a 7		entre 7 y 10		entre 10 y 30		S mín kg/mm²	Ensayo de doblado		Ensayo de resiliencia K mín kgm/cm²		Análisis químico	Categoría acero y aplicaciones
		A_5 mín %	A_{10} mín %	A_5 mín %	A_{10} mín %	A_5 mín %	A_{10} mín %		α°	D mm				
A 00 UNI 815	—	—	—	—	—	—	—	—	90	4a	—	—	—	**Comercial.** Empleos varios, excluidos los recipientes a presión, calderas y cascos de submarinos.
A 34 UNI 815	34 ÷ 42	21	17	22	18	25	20	—	180	2a	8	5	—	**Ordinario.** Como los anteriores.
A 42 UNI 815	42 ÷ 50	19	15	20	16	22	18	—	180	2,5a	5	3	—	
Aq 34 UNI 815	34 ÷ 44	27	22	29	24	32	26	19	180	0	15	10	s ≤ 0,05	**De calidad.** Recipientes a presión, calderas y cascos de submarinos.
Aq 42 UNI 815	42 ÷ 50	22	18	24	20	27	22	23	180	2,5a	9	6	P ≤ 0,05	
Aq 48 UNI 815	48 ÷ 55	20	16	22	18	23	19	26	180	3a	7	4	s + P ≤ 0,09	
Aq 53 UNI 815	53 ÷ 63	18	14	19	15	20	16	29	180	3a	5	3		

Los dos valores indicados para la resiliencia se refieren a probetas extraídas respectivamente en el sentido de la laminación y en sentido transversal.

Tabla 218

(De UNI 3965)

Chapas de espesor superior a 4,75 mm, de acero laminado en caliente, para calderas de vapor y recipientes a presión (UNI 3965)

Tipo de acero	Características mecánicas													
	R kg/mm²	S (a 20° C) kg/mm²	A_{ps} (Alargamiento) para chapas de espesor								K mínimo kgm/cm²		Ensayo de doblado α = 180° D	
			de 4,76 a 7 mm %	entre 7 y 10 mm %	entre 10 y 30 mm %	entre 30 y 35 mm %	entre 35 y 40 mm %	entre 40 y 45 mm %	entre 45 y 50 mm %	superior a 50 mm %	longit.	transver	a < 30 mm	a > 30 mm
Aq 36 UNI 3965	36 ÷ 44	21	27	29	32	29	28	26	25	a convenir al formular el pedido	15	10	0	30
Aq 42 UNI 3965	42 ÷ 50	24	22	24	27	25	24	22	21		9	6	2a	90
Aq 48 UNI 3965	48 ÷ 55	27	20	22	23	21	20	19	18		7	4	3a	120
20 M 4 UNI 3965	48 ÷ 56	30	22	24	26	25	24	22	21		10	7	2a	90
20 M 5 UNI 3965	50 ÷ 58	34	20	22	24	22	21	20	19		8	5	2a	90
16 C D 3 UNI 3965	44 ÷ 54	29	20	22	23	21	20	19	18		9	6	3a	120

En la tabla UNI se indican también los límites de elasticidad mínimos en caliente, en función de las diferentes temperaturas y el límite de deslizamiento mínimo (convencional), el ensayo de resiliencia no es obligatorio. Hay también normas especiales para los ensayos de tracción, doblado, etc.

Tabla 219

Características de las chapas negras recocidas de acero sencillo (De UNI 2633)

Calidad acero	Ensayo de tracción			Ensayo de doblado		Análisis químico	Categoría acero	Aplicaciones
	Carga de rotura R kg/mm²	Alargamiento						
		Ap5 mín %	Ap10 mín %	α	D mm	Impurezas toleradas		
A 00 UNI 2633	—	—	—	90°	4a	—	Comercial	Construcciones mecánicas en general, excluidos los recipientes de presión.
A 34 UNI 2633	34 ÷ 44	—	15	180°	a para a < 2 mm; 2a para a ≥ 2 mm	—	Ordinario	
A 42 UNI 2633	42 ÷ 50	—	13	180°	2a para a < 2 mm; 3a para a ≥ 2 mm	—		
Aq 34 UNI 2633	34 — 44	25	20	2 × 180° a < 2 mm; 180° a ≥ 2 mm	0	S ≤ 0,08; P ≤ 0,08	De calidad	Recipientes de presión y construcciones navales.
Aq 42 UNI 2633	42 — 50	20	16	180°	1,5a			
Aq 48 UNI 2633	48 — 55	17	14	180°	2,5a			
Aq 53 UNI 2633	53 — 63	15	12	90°	2a			
Aq 60 UNI 2633	60 — 72	12	10	90°	3a			
Aq 70 UNI 2633	70 — 85	10	8	90°	4a			

(De UNI 3145)

Chapas de acero sencillo, especial, para estampar en frío, con espesores desde 0,3 hasta 4 mm exclusive

En la tabla UNI 3145 se indican las características de los aceros; así como las prescripciones y los ensayos. En la tabla 3146 las medidas y las tolerancias correspondientes.

Calidad del acero	Ensayo de tracción: Carga de rotura R kg/mm²	Ensayo de tracción: Alargamiento para espesores <1 mm, A mínima %	Ensayo de tracción: Alargamiento para espesores ≥1 mm, A mínima %	Ensayo de embutido: Espesor de la chapa mm	Ensayo de embutido: I_E mínimo mm	Ensayo de doblado: α	Ensayo de doblado: D mm	Aplicaciones	Grado de acabado de la superficie
C7 I UNI 3145	30 ÷ 40	22	24	0,5 1 1,5 2	8,2 9,6 10,7 11,4	2 × 180° para a < 2 mm 180° para a ≥ 2 mm	0	Estampado medio	Sólo el grado **A**: Superficie lisa decapada o semibruñida: toleradas ligeras imperfecciones; forma plana perfecta.
C7 II UNI 3145	30 ÷ 38	27	29	0,5 1 1,5 2	8,6 10,0 11,1 11,8	2 × 180°	0	Estampado profundo	
C7 III UNI 3145	29 ÷ 37	28	30	0,5 1 1,5 2	9,0 10,3 11,4 12,2	2 × 180°	0	Estampado muy profundo Interiores de carrocerías	Dos grados: **B:** Superficie muy lisa, bruñida u opaca: toleradas pequeñísimas imperfecciones; perfectamente planas. **C:** Superficie muy lisa, bruñida u opaca; prácticamente sin imperfecciones.
C7 IV UNI 3145	29 ÷ 35	30	34	0,5 1 1,5 2	9,4 10,7 11,7 12,5	2 × 180°	0	Estampado muy profundo con dificultades especiales Exteriores de carrocerías	

Espesores **(UNI 3146) mm:** **0,30; 0,35; 0,40; (0,45); 0,50; 0,60; (0,70); 0,80; (0,90); 1,00; 1,20; (1,30); (1,40); 1,50; (1,60); (1,70); 1,80; (1,90); 2,00; (2,25); 2,50; (2,75); 3,00: 3,50; 3,90.**

Para los espesores desde 0,3 hasta 0,45 el formato es 800 × 1600
» » » » 0,5 » 3,90 » » » 1000 × 2000

Chapas magnéticas ordinarias

Chapas empleadas para formar los circuitos magnéticos de máquinas y aparatos eléctricos.
Están unificadas en la tabla UNI 3794, que indica sus características magnéticas, mecánicas, las medidas, etc. Se han dividido en 4 clases **D, A, T, P.** Consúltese dicha tabla, ya que no es posible resumirla o copiarla, por su complejidad, y que, por otra parte, interesa sólo a los proyectistas de máquinas eléctricas. La designación de una chapa de este tipo es como sigue:

Chapa magnética, clase y número convencional; UNI 3794; longitud × anchura; pérdida por kg; sigla.

Ejemplo: Chapa magnética D 30050 UNI 3974 2000 × 1000 P1 NAC.

Chapas estriadas de acero laminadas en caliente

Unificados en la tabla 3151.
Espesores: 3; 4; 5; 6; 7; 8; 10; 12 mm.
Formato desde 1000 × 5000 hasta 1600 × 6000.
Designación: Chapa estriada espesor UNI 3151.
Ejemplo: Chapa estriada 6 UNI 3151.

Tabla 221

Aceros especiales para cementar

(De la tabla UNI 2953)

Designación	Elementos químicos de los que están unificados los porcentajes	Propiedades mecánicas: Tratam. probetas	R mín kg/mm²	A_{ps} mín %	s mín kg/mm²	K mín kg/mm²	H_d 10/3000/30 máx kg/mm²	Temperatura de forja y tratamientos térmicos °C: Fo	No	Re	Te	Di	Aplicaciones
C 10	C Mn Si	No Te A	— 45 ÷ 80	— 25 ÷ 40	— 16 ÷ 12	— 10	131 —	1150 ÷ 900	910 ÷ 930		910 ÷ 930 A	130 ÷ 150	Partes de máquinas poco cargadas, fácilmente forjables y tenaces. Pasadores, engranajes, casquillos, cubos, árboles de levas, husillos, bulones, roblones, etcétera. Piezas poco solicitadas a flexión.
C 15		No Te A	— 65 ÷ 95	— 40 ÷ 50	— 10 ÷ 8	— 7	140 —	1150 ÷ 900	900 ÷ 920		875 ÷ 900 A		
16 MC 5	C Mn Si Cr	Re Te Ac	— 105 ÷ 135	— 80	— 8	— 6	207 —	1100 ÷ 900	850 ÷ 880		840 ÷ 870 Ac		Piezas de poco espesor y resistencia media, de gran dureza superficial y buena tenacidad en el núcleo.
14 CN 5	C Mn Si Cr Ni	Re Te Ac	— 100 ÷ 130	— 80	— 8	— 8	217 —	1100 ÷ 900	870 ÷ 890		860 ÷ 880 Ac		Como los anteriores y además para motores de aviación, piñones, coronas cónicas, engranajes marcha atrás, porta-satélites, pasadores de articulaciones, etcétera.
19 CN 5		Re Te Ac	— 120 ÷ 155	— 100	— 7	— 6	241 —	1100 ÷ 900	860 ÷ 880		850 ÷ 870 Ac		Como los anteriores, pero para piezas de medianas dimensiones y cementación más profunda.
12 NC 3	C Mn Si Cr Ni	Re Te A Te Ac	— 85 ÷ 115 65 ÷ 90	— 60 45	— 10 14	— 8 10	197 — —	1100 ÷ 900	890 ÷ 910		880 ÷ 900		Como los anteriores, de pequeñas dimensiones. Pasadores, bujes, bulones, árboles de distribución.
15 NC 5		Re Te Ac	— 100 ÷ 130	— 75	— 9	— 8	227 —	1100 ÷ 900	870 ÷ 890		850 ÷ 880		Para piezas de grandes dimensiones, fuertemente cargadas, engranajes, coronas de diferenciales, piñones, pasadores, etc.
15 NC 11		Re Te Ac	— 110 ÷ 140	— 85	— 9	— 8	235 —	1100 ÷ 900	860 ÷ 880	650 ÷ 700	850 ÷ 870	150 ÷ 180	Piezas cementadas de dimensiones medianas y grandes, fuertemente cargadas, de gran resistencia, extraordinaria dureza superficial, mínima deformación por temple, coronas de diferenciales, engranajes de cambios de velocidades, cigüeñales, piñones, manguetas, etc.
18 NC 13		Re Te Ac	— 125 ÷ 150	— 100	— 7	— 6	235 —	1100 ÷ 850	860 ÷ 880		830 ÷ 850		
18 NC 16		Re Te Ac	— 125 ÷ 155	— 100	— 8	— 7	241 —	1050 ÷ 850	840 ÷ 860		810 ÷ 830		Órganos muy cargados, de pequeñas y medianas dimensiones, cuando no se puedan admitir deformaciones por temple. Cubos, pasadores, engranajes, árboles, coronas dentadas, piñones. bulones, etc.
15 CND 3	C Mn Si Cr Ni Mo	Re Te Ac	— 95 ÷ 130	— 80	— 9	— 8	229 —	1100 ÷ 900	870 ÷ 890		860 ÷ 880		Órganos de máquinas que no se hayan de deformar por el temple. Engranajes, palancas, árboles de levas, pasadores, etc.
20 NCD 2	C Mn Si Cr Ni Mo	Re Te Ac	— 110 ÷ 145	— 95	— 8	— 7	235 —	1100 ÷ 900	860 ÷ 880		850 ÷ 870		Para pequeños órganos de forma complicada que no se deformen por el temple y ofrezcan gran tenacidad.
19 NCD 4		Re Te Ac	— 120 ÷ 150	— 100	— 8	— 7	241 —	1100 ÷ 900	860 ÷ 880		850 ÷ 870		Para órganos de espesor mediano sometidos a choques, de gran dureza superficial y núcleo tenaz. Engranajes de cualquier tipo. Piezas poco deformables por el temple.
17 NCD 7		Re Te Ac	— 120 ÷ 150	— 100	— 8	— 8	241 —	1100 ÷ 900	860 ÷ 880		850 ÷ 880		Como los anteriores, pero de mayores dimensiones. (Engranajes, semiejes, etc.).

Tabla 222

(De las tablas UNI 3987 y 3988)

Productos forjados de acero especial al carbono para cementar y tratar o para bonificar

En las tablas UNI 3987 y 3988 se dan las características mecánicas, las condiciones de aceptación, etc., de los productos forjados arriba indicados, fabricados con aceros especiales al carbono respectivamente UNI 2953 y UNI 2954

Calidad del acero		Estado de recepción	Espesor de los productos forjados mm	Características mecánicas					
				Ensayo de tracción			Ensayo de resiliencia	Ensayo de dureza	
				R kg/mm²	A_{Ps} min %	S min kg/mm²	K mínimo kgm/mm²	H_d máx kg/mm²	H R_c min
Aceros UNI 2953	C 10 UNI 3987	Recocidos para cementar y tratar	hasta 40	—	—	—	—	131	—
		Cementados y tratados	hasta 20 entre 20 y 40	80 70	12 15	25 24	10 13	— —	55 55
	C 15 UNI 3987	Recocidos para cementar y tratar	hasta 100	—	—	—	—	140	—
		Cementados y tratados	hasta 20 entre 20 y 40 entre 40 y 100	95 80 70	8 12 15	35 28 26	7 10 8	— — —	55 55 55
Aceros UNI 2954	C 20 UNI 3988	Recocidos	hasta 100	—	—	—	—	175	—
		Bonificados	hasta 40 entre 40 y 100	50 50	23 23	30 29	18 15	— —	— —
	C 30 UNI 3988	Recocidos	hasta 250	—	—	—	—	187	—
		Bonificados	hasta 40 entre 40 y 100 entre 100 y 250	60 60 56	20 20 18	37 36 31	12 9 5	— — —	— — —
	C 40 UNI 3988	Recocidos	hasta 250	—	—	—	—	217	—
		Bonificados	hasta 40 entre 40 y 100 entre 100 y 250	70 70 66	16 16 14	44 42 37	7 5 3	— — —	— — —
	C 50 UNI 3988	Recocidos	hasta 100	—	—	—	—	235	—
		Bonificados	hasta 40 entre 40 y 100	80 80	13 13	50 48	5 3	— —	— —
	C 60 UNI 3988	Recocidos	hasta 100	—	—	—	—	241	—
		Bonificados	hasta 40 entre 40 y 100	40 100	85 85	10 8	55 52	— —	— —

Aceros especiales para bonificar (UNI 2954)

Designación	Elementos de los que está unificado el %	Propiedades mecánicas: Tratamiento probeta	R mín kg/mm²	s mín kg/mm²	Ap_5 mín %	K mín kg/cm	$H_{d10/3000/30}$ máx kg/mm²	Temperatura de forja y tratamientos térmicos °C: Fo	No	Re	Te	Rv	Aplicaciones
C 20		Re No Bo	— 45÷55 50÷60	— 24 30	— 25 23	— 11 18	175 — —	1150 ÷ 850	880 ÷ 900		870 ÷ 890 Aire		Grandes piezas forjadas, grandes ejes de émbolos, bielas, ejes de locomotoras, pasadores y tirantes de dirección. Palas de ventiladores, roblones, lingotes, tubos, chapas, etc.
C 30		Re No Bo	— 50÷60 60÷70	— 28 37	— 22 20	— 8 12	187 — —	1150 ÷ 850	860 ÷ 880		850 ÷ 870 Aire		Piezas medianamente cargadas; si son de pequeñas dimensiones admiten temple completo. Ejes, árboles, engranajes, pasadores, chavetas, cigüeñales, bielas, cilindros de motores, ganchos de remolque, piezas forjadas, tubos, etc.
C 40	**C Mn Si**	Re No Bo	— 60÷70 80÷100	— 34 44	— 19 16	— 5 7	217 — —	1100 ÷ 850	840 ÷ 860	650 ÷ 700	830 ÷ 850 Aire	580 ÷ 630	Ejes delanteros y árboles de automóviles, puentes traseros, cigüeñales, bielas, cubos, agujas, chavetas, chapas, corazas, llantas, partes de turbinas, herramientas de carpintero, arados, picos.
C 50		Re No Bo	— 70÷85 80÷90	— 40 50	— 15 13	— — 5	235 — —	1050 ÷ 850	830 ÷ 850		820 ÷ 840 Aire		Árboles, bielas, engranajes, pasadores, chavetas, llantas, resortes, martillos, punzones, pedales de bicicleta, cañones de fusil, bayonetas, cuchillos, grandes piezas forjadas, corazas.
C 60		Re Bo	— 85÷100	— 55	— 10	— —	241 —	1050 ÷ 850	820 ÷ 840		820 ÷ 840 Ac		Sierras, sierras de cinta para madera, discos, punzones, hojas de cizallas, hoces, cuchillos, sables, bayonetas, cañones de fusil, sables, utensilios agrícolas, discos de fricción, corazas, etc.
35 MS 5	**C Mn Si**	Re Bo	— 80÷95	— 60	— 12	— 7	235 —	1050 ÷ 850	860 ÷ 880	680 ÷ 720	860 ÷ 880 Ac		Piezas de espesor pequeño y mediano, no muy cargados; ejes de automóvil, árboles de fricción, vástagos para árboles de transmisión, uniones cardán, bielas, piñones, coronas dentadas, etc.
40 C 4	**C Mn Si Cr**	Re Bo	— 80÷95	— 60	— 13	— 8	227 —		870 ÷ 890	680 ÷ 720	860 ÷ 880 Ac	600 ÷ 630	órganos de máquinas estampados de pequeña y mediana dimensión con dureza y buena tenacidad. Tubos de elevada resistencia, ejes, engranajes, árboles, llantas, cilindros, discos para turbinas, remaches cargados, etc.
25 MC 6	**C Mn Si Cr Mo**	Re Bo	— 70÷85	— 50	— 15	— 10	217 —	1100 ÷ 850	860 ÷ 880	680 ÷ 720	870 ÷ 890 Ac		Estructuras soldadas de mediano importancia, en sustitución del acero al Cr-Mo y al Mn-Mo. Tubos y chapas para aviación.
35 CM 4		Re Bo	— 85÷90	— 60	— 14	— 9	227 —		830 ÷ 850		820 ÷ 840 Ac		Sustituye a los aceros al Cr-Ni en los casos poco solicitados transversalmente; se trabaja fácilmente en caliente y en frío. Para matrices, cilindros de laminadores, abrazaderas para muelles, forjados varios de formas regulares.
25 CD 4	**C Mn Si Cr Mo**	Re Bo	— 70÷85	— 55	— 14	— 12	217 —	1100 ÷ 850	880 ÷ 900			580 ÷ 620	Acero soldable, de estructura estable, para piezas bonificables de pequeña sección para construcciones automovilísticas y de aviación.
32 CD 4		Re Bo	— 80÷95	— 65	— 13	— 10	217 —		890 ÷ 910	680 ÷ 720	860 ÷ 880 Ac	580 ÷ 620	Se trabaja bien en caliente y en frío, soporta el sobrecalentamiento y no presenta fragilidad de revenido. Tubos, chapas, árboles acodados, manguetas, palancas de dirección.
38 CD 4		Re Bo	— 90÷105	— 75	— 12	— 9	241 —	1100 ÷ 900	870 ÷ 890			600 ÷ 640	Sustituye a aceros semejantes al Cr-Ni para bonificar en todas las aplicaciones. Apropiado para nitruración y para trabajos especiales aun a 400° C. Cigüeñales, manguetas, bielas, etc.
35 NC 5	**C Mn Si Cr Ni**	Re Bo	— 85÷100	— 70	— 13	— 8	241 —		870 ÷ 890	650 ÷ 690		600 ÷ 630	Para piezas pequeñas tratadas que requieren buenas características mecánicas. Cigüeñales, semiejes acanalados, eslabones de cadenas conductoras. Roblones especiales.
35 NC 9		Re Bo	— 85÷100	— 70	— 14	— 10	241 —		850 ÷ 870			580 ÷ 610	Como las anteriores, cuando las piezas están fuertemente solicitadas.
38 NCD 4	**C Mn Si Cr Ni Mo**	Re Bo	— 90÷105	— 75	— 12	— 10	241 —				830 ÷ 850 Ac	600 ÷ 630	Resiste bien las vibraciones, esfuerzos de torsión, flexión, tracción. Para piezas de elevada tenacidad. Cigüeñales, ejes de locomotoras, apto para temple por inducción.
35 NCD 7		Re Bo	— 95÷110	— 80	— 12	— 12	241 —	1100 ÷ 900	850 ÷ 870			600 ÷ 630	Presenta elevadísima penetración de temple. Indicado para órganos de grandes dimensiones sometidos a esfuerzos alternativos. Cigüeñales de motores Diesel, ejes, roblones especiales de gran tamaño.
40 NCD 7		Re Bo	— 100÷115	— 85	— 10	— 9	243 —			640 ÷ 680		600 ÷ 630	Tiene las mismas características esenciales que el anterior. Cigüeñales, manivelas, cubos de hélices, árboles motores, etc.
30 NCD 12		Re Bo	— 100÷115	— 85	— 14	— 12	260 —		840 ÷ 860		820 ÷ 840 Ac	600 ÷ 630	Indicado para piezas sometidas a grandes esfuerzos de fatiga y flexión, tracción, torsión, choque. Cigüeñales, ejes, cubos de hélice para avión. Es poco sensible a los estímulos de rotura.
35 NCD 15		Re Te A Re	— 175÷200	— 130	— 7	— 4	270 —				840 ÷ 860 Ac	180 ÷ 210	Autotemplante, indeformable, puede sustituir a los aceros para cementar de elevada resistencia a los esfuerzos dinámicos, al desgaste y a los esfuerzos repetidos. Engranajes, árboles de levas, piñones, coronas, ejes, grandes manivelas, mangos y agujeros de mazos, etc.

Tabla 224

Aceros especiales para nitruración

(UNI 3096)

Acero	Elementos químicos indicados en la tabla	Tratamiento térmico de la probeta	Dureza: Brinell H_d 10/3000/30 máx	Dureza: Vickers Hv10 mín	Ensayo de tracción: R kg/mm²	Ensayo de tracción: A_{p_5} mín %	Ensayo de tracción: S mín kg/mm²	Resil. K mín kgm/cm²	Fo °C	No °C	Re °C	Te °C	Rv °C	Ni °C	Aplicaciones
30 CD 10	C Mn Si Cr Mo (Va)	Re Bo Ni	260kg/mm² — —	— — 600	— 90 ÷ 105 —	— 14 —	— 75 —	— 13 —	1150 ÷ 850	870 ÷ 890	730 ÷ 760	850 ÷ 870 aceite	600 ÷ 620	500	Piezas macizas sometidas a grandes esfuerzos, alternativos, a desgaste y fatiga.
42 CAD 7	C Mn Si Cr Al Mo	Re Bo Ni	260 — —	— — 900	— 95 ÷ 110 —	— 14 —	— 80 —	— 10 —	1100 ÷ 850	960 ÷ 980	730 ÷ 760	950 enfriam. en horno a 880 aceite	600 ÷ 640	500	Piezas fuertemente cargadas que exigen gran dureza superficial.
38 CAD 7	C Mn Si Cr Al Mo	Re Bo Ni	260 — —	— — 1100	— 95 ÷ 110 —	— 14 —	— 80 —	— 10 —	1100 ÷ 850	960 ÷ 980	730 ÷ 760	950 enfriam. en horno a 880 aceite	580 ÷ 620	500	Piezas que exigen elevadísima dureza superficial.

En la tabla original se hallan además los diagramas que indican las características mecánicas en función de la sección de la pieza y de la temperatura de revenido.

Tabla 225

Aceros especiales para fundir resistentes en caliente a esfuerzos mecánicos (UNI 3608) *

Acero UNI 3608	R mín kg/mm²	A_{p_5} mín %	S mín en frío kg/mm²	K mín kg/cm²	Fluencia en caliente S mín kg/mm² a las temperaturas en °C			Carga unitaria de deslizamiento viscoso en caliente C_s kg/mm² a las temperaturas en °C					
					300	350	400	400	425	450	475	500	525
C 20 al carbono	45	22	24	6	16	13	10	9	8	7	—	—	—
20 D 4 al molibdeno	45	22	25	6	21	19	17	17	16	15	13	12	8
20 CD 4 al cromo-molibdeno	55	20	30	5	26	24	21	21	19	18	15	13	8

* (Para el ensayo de deslizamiento véase UNI 3272).

Aceros especiales para fundir resistentes al calor, al desgaste y a la corrosión (UNI 3159, 3160, 3161; véase también UNI 4047)

	Tipo y designación del acero	Tratamiento sufrido por la probeta y el lingote	Características mecánicas					Límite de la temperatura de empleo en ambiente gaseoso °C	Aplicaciones
			H_d máx kg/mm²	R mín kg/mm²	Ap5 mín %	s mín kg/mm²	k mín kg/mm²		
Resistentes al calor	X 25 C 13 UNI 3159	Re	—	65	10	—	—	600 ÷ 750	Para piezas en general expuestas a temperaturas hasta 750° C. Válvulas, piezas de hornos, maquinaria para industria de carburantes, etc.
	X 25 CN 2412 UNI 3159	Te Au	—	55	25	—	—	750 ÷ 950	Marcos, placas y piezas de hogares y de hornos de recocido.
	X 25 CN 2420 UNI 3159	Te Au	—	55	25	—	—	950 ÷ 1100	Cajas de cementación, eslabones, cadenas y rodillos para hornos continuos de tratamiento, crisoles, etc.
	X 25 CN 1523 UNI 3159	Te Au	—	40	10	—	—	~ 1100 ÷ 1200	Como las anteriores pero para temperaturas más altas y para órganos más cargados, tubos de protección de pares termoeléctricos, piezas de gasógenos.
	X 45 CN 28 UNI 3159	No	—	55	—	—	—	1100 — 1200 Ambiente corrosivo por SO_2	Piezas de quemadores de gas y fuel-oil, parrillas para hogares, placas, crisoles, etc.
Resistentes al desgaste	X 120 M 12 UNI 3160	Te Agua	≥ 170	—	—	—	—	—	Excavadoras, dragas, molinos desintegradores, machacadoras, etc., y en general piezas de máquinas sujetas a desgaste.
	90 C 4 UNI 3160	Bo aire Bo aceite	≤ 300 ≤ 450	— —	— —	— —	— —	— —	Troqueles de medallas y monedas, cilindros de máquinas, órganos que se hayan de mecanizar antes de los tratamientos térmicos, no sujetos a cargas de flexión ni a choques.
	X 200 C 13 UNI 3160	Bo aire Bo aceite	≤ 450 ≤ 550	— —	— —	— —	— —	— —	Durísimo. Apropiado para cilindros de laminadores en frío de gran tamaño, platos de presión para prensas, etc.
	30 NCD 15 UNI 3160	Bo aire	250 ÷ 500	—	—	—	—	—	Experimenta pequeñas deformaciones de temple y tiene buena tenacidad.
Resistentes a la corrosión	X 20 C 12 UNI 3161	Bo	—	65	12	45	2	—	Válvulas y accesorios para vapor, para derivados del petróleo, y corrosivos. Resistente a las concavidades.
	X 25 C 26 UNI 3161	No	—	50	—	—	—	—	Resiste bien a la corrosión: apropiado para bombas, grifería, uniones, placas de hornos, etc.; industria de la celulosa al sulfito, de ácido nítrico, de nitrógeno, hornos rotativos para cemento.
	X 10 CN 188 UNI 3161	Te Au	—	55	30	22	15	750 (indicativa)	Piezas de hornos, placas, parrillas, apropiado para depósitos en la industria química, grifería, crisoles, etc.
	X 17 CN 188 UNI 3161	Te Au	—	55	25	22	15	—	Resistente a los ácidos, soluciones de sosa cáustica, cloruro amónico, sulfato de cobre, sales de sodio, etc., recipientes, tuberías, etcétera.
	X 10 CNT 188 UNI 3161	Te Au	—	55	30	22	15	—	Empleado para aparatos de la industria química, bombas, grifería, etc. Se puede soldar a otras piezas, sin tratamientos térmicos del conjunto.
	X 20 CN 2412 UNI 3161	Te Au	—	55	25	22	10	900 (indicativa)	Rodillos, soportes móviles, placas, crisoles, hasta 900° C. Resistente al descascarillado.
	X 10 CND 188 UNI 3161	Te Au	—	60	30	25	15	—	Para piezas en contacto con anhídrido sulfuroso, ácido sulfúrico, hipoclorito de sodio, ácido nítrico, lejías al bisulfito.

Aceros especiales resistentes a la corrosión y al calor (UNI 4047)

Tipo de acero UNI 4047	Tratam. probeta	Ensayo de tracción R kg/mm²	s min kg/mm²	Ap5 min %	Ensayo de dureza Brinell Hd/10/3000/30 y de resiliencia K: Hd	K	Temperatura de: Fo	No	Re	Te Ac	Rv	En (enfriamiento con agua)
X 15 C 13	Re	—	—	—	220	—	1100 ÷ 900					—
	Bo	70 ÷ 90	55	14	—	5		900 ÷ 980				
X 15 CF 13	Re	—	—	—	220	—	1100 ÷ 900					—
	Bo	70 ÷ 90	55	14	—							
X 20 C 13	Re	—	—	—	220	—	1150 ÷ 900		700 ÷ 780	930 ÷ 1000	600 ÷ 650	—
	Bo	65 ÷ 85	55	14	—			930 ÷ 980				
X 32 C 13	Re	—	—	—	290	—						—
	Bo	80 ÷ 100	60	12	—							
X 40 C 14	Re	—	—	—	290	—	1100 ÷ 900	900 ÷ 960				—
	Bo	85 ÷ 105	65	10	—							
X 20 CN 16	Re	—	—	—	260	—		950 ÷ 1000	650 ÷ 750	930 ÷ 1030	630 ÷ 680	—
	Bo	80 ÷ 95	60	14	—	4						
X 16 CN 19	Re	—	—	—	220	—						—
	Bo	65 ÷ 80	50	16	—	4						
X 12 C 17	Re	45 ÷ 65	25	18	190	—		750 ÷ 850	760 ÷ 810A	—	—	—
X 25 C 26	Re	50 ÷ 70	28	14	200	—	1100 ÷ 800	800 ÷ 900	810 ÷ 870A	—	—	—
X 8 CA 13	Re	45 ÷ 60	23	20	210	—		—	750 ÷ 850A	—	—	—
X 12 CA 12	Re	50 ÷ 65	35	15	220	—	1050 ÷ 800	—	700 ÷ 750A	—	—	—
X 12 CA 23	Re	50 ÷ 65	35	10	220	—	1100 ÷ 800	—	700 ÷ 750A	—	—	—
X 3 CN 1911	En	45 ÷ 65	18	40	—	20		—	—	—		—
X 6 CN 1911	En	45 ÷ 65	18	40	—	20		—	—		—	
X 8 CN 1910	En	50 ÷ 70	22	40	—	18		—	—	—	—	
X 15 CN 1808	En	55 ÷ 75	24	35	—	15		—	—	—	—	1050 ÷ 1150
X 15 CNF 1808	En	55 ÷ 75	25	35	—	16		—	—	—	—	
X 15 CN 1707	En	60 ÷ 80	25	30	—	13		—	—	—	—	
X 12 CN 1811	En	50 ÷ 70	25	35	—	16	1200 ÷ 900	—	—	—	—	950 ÷ 1070
X 8 CNT 1810	En	55 ÷ 75	22	40	—	16		—	—	—	—	1000 ÷ 1100
X 8CNNb 1811	En	55 ÷ 75	22	35	—	16		—	—	—	—	
X 8 CND 1712	En	55 ÷ 75	20	40	—	18		—	—	—	—	
X 20 CN 2412	En	60 ÷ 75	25	30	—	15		—	—	—	—	1050 ÷ 1150
X 8 CN 2520	En	55 ÷ 75	20	30	—	16		—	—	—	—	
X 25 CN 2520	En	60 ÷ 75	25	30	—	15		—	—	—	—	

Tabla 228

Aceros para herramientas

Para los porcentajes de los componentes de estos aceros, véase la tabla UNI 2955 S (segunda edición 1957), en la que están unificados y de la que se han sacado los datos de la presente tabla. En la 3.ª columna se indican tipo por tipo, los símbolos de los elementos cuyos porcentajes figuran en la tabla de unificación. Para todos los tipos, el azufre y el fósforo están tolerados como impurezas en % $\leq$ 0,03 cada uno.

Clase	Designación convencional del tipo de acero	Elementos químicos cuyos porcentajes se han fijado	Tratamientos				Aplicaciones
			Fo °C	Re °C	Te °C	Rv °C	
a) Aceros rápidos	UX 80 WK 181	C Mn Cr W V Mo Co Si	1150÷950	850÷950	1260÷1300	550÷580	Aceros de elevadísimo rendimiento (super-rápidos) para velocidades de corte muy elevadas (excluidos choques). Para corte de metales muy duros.
	UX 80 WK 185	C Mn Cr W V (Mo) Co Si					
	UX 80 WV 18	C Mn Cr W V (Mo) Si	1150÷950	850÷900	1260÷1300	540 ÷ 570	Aceros rápidos de gran rendimiento para mecanizado de aceros de gran resistencia, fundiciones, etc. Más tenaces que los anteriores.
	UX 75 W 18	C Mn Cr W V Si			1240÷1300		
	UX 82 WD 65	C Mn Cr W V Mo Si	1150÷900	820÷900	1180÷1240		Aceros rápidos muy tenaces, apropiados para herramientas sujetas a grandes esfuerzos dinámicos (fresas, brocas, herramientas de cepilladoras, etc.).
	UX 82 DW 9	C Mn Cr W V Mo Si		800÷900			
	UX 90 W 8	C Mn Cr W V Si	1100÷900	820÷900	1180÷1240		Acero rápido de uso corriente (velocidades media y baja).
b) Aceros para mecanizar en caliente	UX 28 W 9	C Mn Cr W V (Ni) Si	1150÷900	780÷880	1120÷1170 aceite o baño de sal	550÷650	Para mecanizados hasta 650° C. Piezas para extrusiones en caliente, fusión por presión, matrices para estampación, matrices en general.
	UX 35 CD 5	C Mn Cr (W) V Mo Si	1100÷900		970÷1050 aire o baño de sal	500÷650	Para mecanizados hasta 630° C. Empleos semejantes a los anteriores.
	U 40 WC 20	C Mn Cr W (V) Si	1100÷850	750÷830	850÷930 agua	300÷550	Para temperaturas moderadas. Cuchillas de cizallas, estampas, para desbarbar.
	U 42 NCD 167	C Mn Cr Mo Ni Si	1100÷900	630÷670 enfriam. en horno	830÷870 aire	180÷200 500÷620	Acero autotemplante. Estampas grandes y medianas de gran resistencia. (R $\leq$ 150 kg/mm².)
	U 52 NCD 6	C Mn Cr Mo Ni Si		650÷700	820÷860 aceite	500÷620	Para estampas medianas y grandes (R $\leq$ 120 kg/mm²).
Aceros para mecanizado en frío	UX 200 C 13	C Mn Cr (V) Si	1050 ÷ 850	820 ÷ 900	904÷1000 aceite o baño de sal	150÷250	Herramientas resistentes al desgaste y al choque, no sujetas a flexión. Cuchillas para chapas al silicio, hileras, matrices.
	UX 150 CD 12	C Mn Cr Mo (V) Si			980÷1040 aire, aceite, baño de sal 1050÷1150 aire	150÷250 540÷580	Semejante al anterior, pero de mayor tenacidad.
	U 52 WC 20	C Mn Cr W Si		750÷830	850÷900 aceite 830÷870 agua	200÷300	Para herramientas sujetas a vibraciones y a choques repetidos, para recalcar en frío, para desbarbar, decapar, etc.
	U 110 WC	C Mn Cr W Si		720 ÷ 770	800÷850 aceite	150 ÷ 250	Herramientas de perfil especial para templar en aceite, para rayar limas, para roscar, etcétera.
	U 115 W	C Mn W (V) Si			770÷830 agua		Herramientas de forma sencilla para templar en agua (escariadores, buriles, rasquetes, alisadores, machos, etc.).
	U 100 CM 4	C Mn Cr (V) Si		720 ÷ 760	800÷850 aceite		Herramientas que no se deban deformar por el temple. Hojas de guillotina, calibres, brocas, machos, hileras, peines de roscar.
	U 85 MV 8	C Mn V Si	1050÷800		760÷820 aceite		
Aceros al carbono especiales	UC 110	C Mn $\leq$ 0,30 % Si $\leq$ 0,30 %	950÷800	700 ÷ 750	770÷790 agua	100 ÷ 200	Acero duro para herramientas de torno, puntas de punzonadoras, machos, matrices para hileras, piñones, herramientas para desbarbar.
	UC 100		1000 ÷ 850				Acero tenaz, duro para herramientas de trabajo en frío de todas clases, matrices, piñones, estampas para corte, punzones, cuchillas de cizallas, cinceles, troqueles para fabricar en caliente cubertería y bisutería.
	UC 85				780÷800 agua		Acero tenaz para cuchillas de cizallas, barrenas para madera, utensilios de herrero.
	UC 70		1050÷850		790÷810 agua		Acero muy tenaz para martillos, yunques, martillos de forja, herramientas de corte para madera.

Tabla 229

Aceros para muelles (UNI 3545 S)												
Categoría de los aceros y su designación convencional		Tratamiento de la probeta	Características mecánicas				Forja y trat. térmicos					Aplicaciones
			R min Kg/mm²	Ap5 min %	S min Kg/mm²	H màx Kg/mm²	Fo °C	No °C	Re °C	Te °C	Rv °C	
al carbono	C 45	Re	—	—	—	≤ 217	1050 ÷ 850	840 ÷ 870		830 ÷ 850 A	560 ÷ 630	Alambre para muelles corrientes de cama, ganchos para amortiguadores, etc.
		Bo	70 ÷ 85	16	50	—						
	C 60	Re	—	—	—	≤ 237	1050 ÷ 850	820 ÷ 850		800 ÷ 820 A	400 ÷ 450	Muelles corrientes de uso general.
		Bo	130 ÷ 155	6	105	—						
	C 72	Re	—	—	—	≤ 241	1050 ÷ 850	810 ÷ 830		800 ÷ 820 Ac	400 ÷ 450	Resortes helicoidales para todos los usos, pequeños, con diámetros del alambre ≤ 8 milímetros. Placas para cadenas calibradas, anillos y arandelas plásticos, etc.
		Bo	135 ÷ 160	5	105	—						
	C 85	Re	—	—	—	≤ 241	1050 ÷ 850	800 ÷ 830		780 ÷ 800 Ac	400 ÷ 450	Muelles en general, discos elásticos, flejes de gran dureza.
		Bo	140 ÷ 165	5	115	—						
	C 98	Re	—	—	—	≤ 241	1050 ÷ 850	800 ÷ 830		780 ÷ 800 Ac	400 ÷ 450	Alambre armónico de 0,3 a 2 milímetros; cuando se necesite elevada resistencia y gran precisión y garantía de la flexibilidad o bien muelles como los anteriores.
		Bo	140 ÷ 170	4	115	—						
al silicio	48 S 5 C Mn Si	Natural laminado	—	—	—	245 ÷ 285	1100 ÷ 850	860 ÷ 880	650 ÷ 700	820 ÷ 850 A	410 ÷ 450	Muelles de ballesta para los FF. EE; muelles con nervio, discoidales para órganos de ferrocarril, árboles acodados, piñones, ejes, etc.
		Bo	130 ÷ 160	7	115	—						
	52 S 8 C Mn Si	Natural laminado	—	—	—	270 ÷ 321	1100 ÷ 850	850 ÷ 880		850 ÷ 870 Ac	410 ÷ 450	Para muelles de ballesta de automóvil muy cargados. Resortes helicoidales de suspensión, con Ø del alambre ≥ 7 milímetros.
		Bo	135 ÷ 170	7	120	—						
al cromo-vanadio	50 CV 4 C Mn Si Cr V	Re	—	—	—	230 ÷ 270	1100 ÷ 850	850 ÷ 870		840 ÷ 860 Ac	410 ÷ 450	Resortes helicoidales sometidos a fuertes cargas de gran frecuencia, como los de los motores de aviación.
		Bo	140 ÷ 170	5	135	—						
al cromo-silicio	52 SC 5 C Mn Si Cr	Re	—	—	—	240 ÷ 280	1100 ÷ 850	860 ÷ 880		850 ÷ 870 Ac	410 ÷ 450	Para resortes en espiral de sección rectangular muy cargados.
		Bo	160 ÷ 190	5	135	—						
	52 SCV 5 C Mn Si Cr V	Re	—	—	—	240 ÷ 280	1100 ÷ 850	850 ÷ 880		860 ÷ 880 Ac	410 ÷ 450	Muelles sometidos a grandes cargas.
		Bo	160 ÷ 190	5	135	—						
	52 SCN 5 C Mn Si Cr Ni	Re	—	—	—	240 ÷ 280	1100 ÷ 850	850 ÷ 870		850 ÷ 870 Ac	410 ÷ 450	Muelles de ballesta para automóvil; resortes en espiral, de sección rectangular y de amortiguamiento muy cargados: barras de torsión; sierras de carpintero; utensilios diversos.
		Bo	160 ÷ 180	5	135	—						

Acero al carbono ordinario y especial, en barras estiradas con características controladas (UNI 3597)

Estirado crudo

Designación tipo acero	Medidas mm más de	Medidas mm hasta	Ensayo de tracción R min kg/mm²	Ensayo de tracción Ap5 min %
A 34 UNI 3597 crudo	6 sólo en barras redondas	10 sólo en barras redondas	42	8
	10 sólo en barras redondas	15 sólo en barras redondas	40	9
A 37 UNI 3597 crudo	6	10	46	8
	10	20	44	9
	20	30	44	9
	30	50	42	10
	50	80	42	12
Aq 34 UNI 3597 crudo / C 10 UNI 3597 crudo	6	10	44	8
	10	20	42	10
	20	30	42	12
	30	50	40	12
	50	80	40	13
Aq 42 UNI 3597 crudo / C 20 UNI 3597 crudo	6	10	53	7
	10	20	50	8
	20	30	50	9
	30	50	45	10
	50	80	45	10
Aq 50 UNI 3597 crudo / C 30 UNI 3597 crudo	6	10	63	6
	10	20	60	7
	20	30	58	8
	30	50	56	9
	50	80	54	10
Aq 60 UNI 3597 crudo / C 40 UNI 3597 crudo	6	10	72	6
	10	20	68	6
	20	30	67	7
	30	50	66	8
	50	80	65	8
Aq 70 UNI 3597 crudo	6 sólo en barras redondas	10 sólo en barras redondas	22	5
	10 sólo en barras redondas	15 sólo en barras redondas	80	6
C 50 UNI 3597 crudo	6	10	82	5
	10	20	80	6
	20	30	78	7
	30	50	75	7
	50	80	75	8

Estirado recocido

Designación tipo acero	Medidas mm	Ensayo de tracción R min kg/mm²	Ensayo de tracción Ap5 min %
A 34 UNI 3597 recocido	≤ 15 sólo en barras redondas	34 ÷ 42	27
A 37 UNI 3597 recocido	de 6 a 80	37 ÷ 45	25
Aq 34 UNI 3597 recocido	de 6 a 80	34 ÷ 42	30
Aq 42 UNI 3597 recocido	de 6 a 80	42 ÷ 50	25
Aq 50 UNI 3597 recocido	de 6 a 80	50 ÷ 60	22
Aq 60 UNI 3597 recocido	de 6 a 80	60 ÷ 70	17
Aq 70 UNI 3597 recocido	≤ 15 sólo en barras redondas	70 ÷ 85	12

Estirado normalizado

Designación tipo acero	Medidas mm	Ensayo de tracción R min kg/mm²	Ensayo de tracción Ap5 min %
C 10 UNI 3597 normalizado	de 6 a 80	≤ 45	28
C 20 UNI 3597 normalizado	de 6 a 80	45 ÷ 55	25
C 30 UNI 3597 normalizado	de 6 a 80	50 ÷ 65	22
C 40 UNI 3597 normalizado	de 6 a 80	60 ÷ 75	18
C 50 UNI 3597 normalizado	de 6 a 80	70 ÷ 85	14

Estirado bonificado

Designación tipo acero	Medidas mm	Ensayo de tracción R min kg/mm²	Ensayo de tracción b min kg/mm²	Ensayo de tracción Ap5 min %
C 20 UNI 3597 bonificado	de 6 a 40	50 ÷ 65	30	19
C 30 UNI 3597 bonificado	de 6 a 40	60 ÷ 75	37	18
C 40 UNI 3597 bonificado	de 6 a 40	68 ÷ 83	40	14
C 50 UNI 3597 bonificado	de 6 a 40	75 ÷ 90	18	11

Tabla 231

Aceros especiales para roblones (UNI S 114)							
Calidad acero	Estado del material	H_d 10/3000/30 kg/mm² máx	Ensayo de tracción			K mín kgm/cm²	Aplicaciones
			R kg/mm²	A_{ps} mín %	S mín kg/mm²		
12 F 1	No Es	— —	**37 ÷ 50** **50 ÷ 70**	**20** **—**	**20** **—**	— —	Para tornillería corriente no tratada; para fabricación automática con separación de virutas.
12 F 2	No Es	— —	**37 ÷ 50** **50 ÷ 70**	**20** **—**	**20** **—**	— —	Para tornillería como la anterior. Para pequeñas piezas de precisión.
22 F 1	Bo	—	**60 ÷ 70**	**14**	**40**	**14**	Para tornillería tratada; para fabricación automática con separación de virutas.
35 CM 4	Bo	—	**85 ÷ 100**	**14**	**65**	**8**	Para tornillería tratada, con buenas características de resistencia.
35 NC 5	Bo	—	**90 ÷ 105**	**13**	**70**	**9**	Ídem, con elevadas características de resistencia.
28 MCV 5	Bo blando Bo duro	— —	**95 ÷ 105** **105 ÷ 115**	**12** **10**	**75** **85**	**9** **7**	Ídem, para elevadísimas características de resistencia.
30 CV 10	Re Bo	**217** **—**	**90 ÷ 105**	**—** **13**	**—** **70**	**—** **10**	Ídem, para empleos especiales que exijan elevadísima resistencia.
50 CV 4	Bo	—	**100 ÷ 115**	**9**	**80**	**8**	Ídem, con elevadísimas características mecánicas generales.

Tabla 232

Aceros especiales para cojinetes de rodamiento Unificados en la tabla UNI 3097									
Acero	Elementos químicos indicados en la tabla	Dureza Brinell del material recocido Hd 10/3000/30 máximo kg/mm²	Temperaturas de forja y tratamientos (indicativos) en °C						Aplicaciones
			Fo	No	Re	Temple		Rv	
						Agua	Aceite		
100 C 6	**C Mn Cr Si**	**220**	**1050 ÷ 850**	**870 ÷ 950**	**760 ÷ 780**	**790 ÷ 820**	**820 ÷ 850**	**150 ÷ 220**	Piezas expuestas a desgaste: todas las partes de los cojinetes, cilindros de pequeños laminadores, etc.
100 CM 4	**C Mn Cr Si**	**230**	**1050 ÷ 850**	**850 ÷ 900**	**760 ÷ 780**	**780 ÷ 800**	**800 ÷ 830**	**150 ÷ 220**	Para los mismos empleos cuando sean mayores las medidas y la profundidad del temple
X 110 CN 17	**C Mn Cr Ni Si**	**240**	**1050 ÷ 900**	**870 ÷ 920**	**780 ÷ 820**	—	**950 ÷ 1050**	**150 ÷ 220**	Para cojinetes resistentes al calor y a la corrosión, para giróscopos, etc.

Tabla 233

Aceros especiales para estructuras soldadas (UNI S 116)
(tubos y chapas)

Calidad acero	Tratamiento térmico de la prueba	Características mecánicas. Ensayo de tracción (UNI 663)										Aplicaciones
		Probetas no soldadas									Probetas soldadas	
		R kg/mm²	S mín kg/mm²	Tubos		Chapas de espesor (mm)						
				Ap5 mín %	Ap10 mín %	<0,9	0,8-1,5	>1,5÷4			R mín kg/mm²	
						Ap10 mín %		Ap5 mín %	Ap10 mín %			
C 9	No	35÷45	24	28	23	19	21	28	23		30	Tubos y chapas para estructuras soldadas. Tubos torneados y soldados para árboles de transmisión con Ø < 50 mm.
C 16	No	45÷55	26	24	20	16	18	24	20		40	Tubos, chapas, perfiles y estampados para estructuras soldadas de cargas medianas.
20 M 6	No	55÷65	36	20	16	12	14	20	16		50	Tubos y chapas para estructuras aeronáuticas.
25 MC 6	No (Re) Bo	65÷80 85÷100	42 60	16 13	12 10	10 —	11 7	16 13	12 9		60 —	Tubos y chapas destinados especialmente a estructuras soldadas aeronáuticas, de fuerza y fuertemente cargadas.
28 MCV 5	Bo	100÷120	75	9	6	—	4	9	6		—	Estructuras soldadas de gran resistencia y tenacidad, para empleos aeronáuticos.

Notas. El **ensayo de doblado** para las 4 primeras calidades se hace con $\alpha = 180°$ y con **D** respectivamente de **0; 2a; 3a; 4a** mm. Los aceros de la última calidad pueden emplearse únicamente con autorización especial. Para más detalles véase tabla **UNI S 116.**
Composición química e impurezas. C varía de 0,06 a 0,30 %; **Mn** de 0,4 a 1,3 %; **Cr,** ausente en las tres primeras calidades, varía de 0,3 a 0,9 % en las otras dos; **V** sólo se halla en la última calidad 0,1 ÷ 0,2 %; **Si** < 0,35 %. En la última calidad **S** ≤ 0,015 % **P** ≤ 0,020 %.

Tabla 234

Aceros para fundir de elevadas características mecánicas (De UNI 4010)

Designación convencional	Ensayo de tracción			K mín kg/cm²	Análisis químico: Impurezas toleradas %	Categoría
	R mín kg/mm²	s mín kg/mm²	Ap5 mín %			
I UNI 4010 II UNI 4010	52 60	30 35	18 10	6 3	s ≤ 0,035 P ≤ 0,035	Aceros al carbono especiales
III UNI 4010 IV UNI 4010 V UNI 4010	60 70 80	35 45 60	15 12 10	6 5 4	s ≤ 0,035 P ≤ 0,035	Aceros aleados

Tabla 235

Aceros especiales para válvulas y asientos de motores de combustión interna (UNI 3992)												
Acero	Tratam. térmico de la probeta	Elementos indicados en la tabla de unificación	H_d máx kg/mm²	R kg/mm²	s min kg/mm²	A_{p5} mín %	Forja y tratamientos térmicos. Temperaturas °C					
							Fo	Re	Te			R_v
									Agua	Aire	Aceite	
X 43 CS 8 UNI 3992	C Mn Si Cr Ni	Re Bo	310 —	— 95 ÷ 115	— 75	— 13	1100 ÷ 900	750 ÷ 800	—	—	1100 ÷ 1050	700 ÷ 750
X 80 CSN 20 UNI 3992	C Mn Si Cr Ni	Re Bo	325 —	— 95 ÷ 115	— 75	— 12	1100 ÷ 900	750 ÷ 800	—	1080	1050 ÷ 1080	700 ÷ 750
X 45 CNW 1909 UNI 3992	C Mn Si Cr Ni W	temple negativo	270	80 ÷ 95	38	30	1100 ÷ 900	—	1000 ÷ 1100 (negativo)	—	—	—
X 50 CNW 1414 UNI 3992	C Mn Si Cr Ni W	temple negativo	270	75 ÷ 90	86	25	1100 ÷ 900	—	1000 ÷ 1100 (negativo)	—	—	—

7. Equivalencias de aceros

Uno de los problemas que pueden presentarse al dibujante lo constituye el hecho de que:

a) Hay muchos aceros que no corresponden exactamente, o no del todo, a los tipos unificados.

b) Muchos fabricantes o almacenistas de aceros ofrecen los aceros unificados con denominaciones o siglas propias; por lo que si no se dispone de listas o catálogos, resulta difícil o imposible establecer la correspondencia de un acero con el tipo unificado de las mismas características.

Dada la enorme cantidad de aceros no unificados no ha sido posible, por lo menos hasta ahora, compilar tablas seleccionándolos, que indiquen las características que presentan.

En cambio, se ha compilado una doble serie de tablas, en la primera de las cuales se han seleccionado ordenadamente todos los aceros unificados, con la indicación de las siglas o de las marcas de las calidades correspondientes de algunas de las empresas productoras más conocidas de Italia. Esta selección es sin duda alguna bastante incompleta, debido no solamente a lo difícil que resulta recoger los datos, sino también a que los aceros resistentes al calor y a la corrosión son de muy reciente unificación; por este motivo las listas de las firmas productoras no indican las unificaciones correspondientes. Esto ha obligado a establecer varias de las equivalencias indicadas mediante una laboriosa confrontación de las composiciones químicas y de las características mecánicas y tecnológicas de los tipos que se encuentran en el comercio y de los tipos unificados.

En la segunda serie de tablas se indica la correspondencia entre las siglas o marcas de los aceros que se ofrecen en el comercio y los aceros UNI. Con estas tablas se facilita notablemente la labor del dibujante en lo referente a la consideración de los materiales, porque si encuentra, por ejemplo, la indicación para una herramienta, *material* **IND**, la cual podrá dejarle perplejo, por medio de las tablas entiende en seguida que se trata de un acero de la *Cogne* que corresponde al **U 85 MV 8 (UNI 2955).**

La tabla 236 (compuesta de 5 tablas) se refiere a los aceros al carbono; la tabla 237 (compuesta de siete tablas dobles) se refiere a los aceros especiales.

Al consultar estas tablas se ha de tener presente que los símbolos de unificación se hallan en la primera columna dispuestos por orden alfabético o numérico: por lo cual empieza por los aceros cuya sigla **UNI** empieza con una letra; siguen los aceros cuya sigla empieza con un número árabe, finalmente están las escasas siglas que empiezan con un número romano. Por último, en la tabla 238 (compuesta de cuatro tablas), están dispuestas en orden alfabético las diferentes siglas de los aceros de las firmas productoras más conocidas, con la indicación de la sigla **UNI** correspondiente. Consultando las tablas 238, junto con las 236 y 237, se pueden resolver todos los problemas que puede presentar la selección de aceros.

Ejemplo. El dibujante halla en los apuntes que una pieza está fabricada con acero RSK. En la tabla 238, ve que este acero corresponde a UX 80 WV 18 (UNI 2955). En la 237, halla, correspondiendo a esta sigla UNI, la indicación de todos los fabricantes de acero de dicho tipo, y las siglas correspondientes, por ejemplo, *RLV (Fiat); Phönix 57 Pluto G; Marathon Rapid Spezial; MB*xxx *(Cogne); David (Breda).*

Equivalencias de los aceros

Aceros al carbono

Tabla 236

ACEROS UNIFICADOS	FIAT	ILVA	FALCK	DIN	CATEGORÍA, TIPO Y EMPLEO DEL ACERO
A 00 UNI 663	A 00	A 00	T 00	St 00.29	Comercial. Para tubos sin soldadura.
A 00 UNI T 671					Comercial. Para fundir piezas de acero simple ordinario.
A 00 UNI 673			F 00	St 00.11	Comercial simple ordinario para forjar.
A 00 UNI 743	A 00	A 00		St 00.12	Comercial simple para productos laminados en caliente.
A 00 UNI 815			L 00	St 37.21	Comercial para planchas de espesor ≧ 4 mm.
A 00 UNI 2633			LL 00	St 37.22	Comercial. Chapas negras recocidas, laminadas en caliente, de espesor de 0,6 a 4 mm.
A 00 UNI 3033					Comercial. Simples en barritas y redondos.
A 00 UNI 3143					Comercial. Flejes laminados en caliente.
A 00 UNI 3158			G 00		Comercial. Lingotes de acero simple ordinario al carbono.
A 00 UNI 3596 (crudo o recocido)					Comercial. Barras estiradas de uso corriente de acero al carbono ordinario.
A 00 UNI 3985					Comercial. Ordinario al C en productos forjados.
A 34 UNI 815	A 34	A 34	L 34		de espesor ≧ 4 milímetros, laminados en caliente.
A 34 UNI 2633			LL 42		Ídem. Espesor de 0,6 a 4 mm.
A 34 UNI 3033					Ordinario. Simple en barritas y redondos.
A 34 UNI 3143					Ordinario. Simple en flejes laminados en caliente.
A 34 UNI 3596 (crudo o recocido)					
A 34 UNI 3597 (crudo o recocido)					Ordinario. Al C corriente y especial en barras estiradas con características controladas.
A 37 UNI 673	A 37	A 37	P 37	St 37.11	Ordinario. Simple corriente para forjar.
A 37 UNI 743				St 37.12	Ordinario. Simple en productos laminados en caliente.
A 37 UNI 3033					Ordinario. Simple en barritas y redondos.
A 37 UNI 3143					Ordinario. Simple en flejes laminados en caliente.
A 37 UNI 3596 (crudo o recocido)					Ordinario. En barras estiradas de uso corriente.
A 37 UNI 3597 (crudo o recocido)	A 37	A 37	P 37		Ordinario y especial en barras estiradas con características controladas.

Aceros al carbono (continuación)

Tabla 236 (continuación)

ACEROS UNIFICADOS	FIAT	ILVA	FALCK	DIN	CATEGORÍA, TIPO Y EMPLEO DEL ACERO
A 37 UNI 3985					Ordinario. Corriente al C en productos forjados.
A 37 UNI 4005					Ordinario. Redondo para roblones remachados en caliente.
A 38 UNI T 671					Ordinario. Lingotes de acero simple corriente.
A 38 UNI 3158			**G 38**	**Stg 38.81**	Ordinario. Acero simple corriente al C para fundir.
A 42 UNI 815	**A 42**	**A 42**	**L 42**	**St 42.21**	Ordinario. Planchas de espesor > 4 milímetros, laminadas en caliente.
A 42 UNI 2633			**L 42 T**		Ordinario, como el anterior espesor de 0,6 a 4 mm.
A 45 UNI T 671					Ordinario. Lingotes de acero simple corriente.
A 45 UNI 3158			**G 45**	**Stg 45.81**	Ordinario. Simple corriente para fundir.
A 50 UNI 673			**F 50**	**St 50.11**	Ordinario. Simple corriente para forjar.
A 50 UNI 3985					Ordinario. Corriente al C para fundir.
A 52 UNI T 671					Ordinario. Lingotes de acero simple corriente.
A 52 UNI 3158			**G 52**	**Stg 52.81**	Ordinario. Acero simple corriente para fundir.
A 13035; 15050; 17050 (UNI 3794)					Chapas magnéticas corrientes.
Aq 34 UNI 673	**Aq 34**	**Aq 34**	**FQ 34**	**St 34.11**	De calidad. Simple corriente, para forjar.
Aq 34 UNI 743			**PQ 34**	**St 34.12**	De calidad. Simple en productos laminados en caliente.
Aq 34 UNI 815			**LQ 34**	**St 34.22**	De calidad. Planchas de espesor ≧ 4 milímetros, laminadas en caliente.
Aq 34 UNI 2633			**LLQ 34**		Ídem, espesor de 0,6 a 4 mm.
Aq 34 UNI 3033					De calidad. Simple, en barritas y redondos.
Aq 34 UNI 3143					De calidad. Simple, en flejes laminados en caliente.
Aq 34 UNI 3596 (crudo o recocido)					De calidad. Al C corriente en barras estiradas de uso general.
Aq 34 UNI 3597 (crudo o recocido)					Ídem, con características controladas.
Aq 34 UNI 3983 *					De calidad. Para forjar para productos normalizados o recocidos.
Aq 34 UNI 3985					De calidad. Corriente al C en productos forjados.
Aq 34 UNI 3986					De calidad. En productos forjados normalizados o recocidos.
Aq 34 UNI 4005			**TCR 34**		De calidad. Para redondos de roblones remachados en caliente.
Aq 35 UNI 663				**St 34.29**	De calidad. Tubos de acero sin soldadura.

Aceros al carbono (continuación)

Tabla 236 (continuación)

ACEROS UNIFICADOS	FIAT	ILVA	FALCK	DIN	CATEGORÍA, TIPO Y EMPLEO DEL ACERO
Aq 45 UNI 3543					De calidad. De alto límite de fluencia en productos laminados en caliente.
Aq 45 UNI 3544					De calidad. Como el anterior para estructuras soldadas.
Aq 45 UNI 3595					De calidad. Para fundir con determinadas características magnéticas.
Aq 45 UNI 3872					De calidad. Tubos sin soldadura para calderas marinas y tuberías navales a presión.
Aq 48 UNI 815	**Aq 48**	**Aq 48**	**LQ 48 (T)**		De calidad. Planchas laminadas en caliente con espesor ≧ 4 mm.
Aq 48 UNI 2633			**LLQ 48**		Ídem, con espesor de 0,6 a 4 mm (chapas negras recocidas).
Aq 48 UNI 3965					Ídem, espesor ≧ 4,76 mm para calderas de vapor y recipientes a presión.
Aq 50 UNI 673			**FQ 50**	**St 50.11**	De calidad. Acero simple corriente para forjar.
Aq 50 UNI 743	**Aq 50**	**Aq 50**	**PQ 50**		De calidad. Simple en productos laminados en caliente.
Aq 50 UNI 3033					De calidad. Simple en barritas y redondos.
Aq 50 UNI 3143					De calidad. Simple en flejes laminados en caliente.
Aq 50 UNI 3596 (crudo o recocido)					De calidad. Corriente en barras estiradas de uso general.
Aq 50 UNI 3597 (crudo o recocido)					De calidad. Como el anterior, con características controladas.
Aq 50 UNI 3983 *					De calidad. Para forjar, para productos normalizados o recocidos.
Aq 50 UNI 3985					De calidad. Corriente al C en productos forjados.
Aq 50 UNI 3986					De calidad. Como el anterior, normalizados o recocidos.
Aq 52 UNI T 671					De calidad. Lingotes de acero simple corriente.
Aq 52 UNI 3158			**GQ 52**	**St 52.81 s**	De calidad. Simple corriente al C para fundir.
Aq 52 UNI 3543					De calidad. De alto límite de fluencia en productos laminados en caliente.
Aq 52 UNI 3544					De calidad. Como el anterior para estructuras soldadas.
Aq 53 UNI 815	**Aq 53**	**Aq 53**	**LQ 53 (T)**	**St 50.22**	De calidad. Planchas de espesor ≧ 4 milímetros, laminadas en caliente.
Aq 53 UNI 2633			**LLQ 53**		De calidad. Como el anterior, espesor de 0,6 a 4 mm (chapas negras recocidas).
Aq 55 UNI 663	**A 55**		**TQ 55**	**St 55.29**	De calidad. Tubos de acero sin soldadura.

Aceros al carbono (continuación)

Tabla 236 (continuación)

ACEROS UNIFICADOS	FIAT	ILVA	FALCK	DIN	CATEGORÍA, TIPO Y EMPLEO DEL ACERO
Aq 35 UNI 2897	A 35		Tq 35		De calidad. Tubos de precisión sin soldadura, estirados en frío.
Aq 35 UNI 3872					De calidad. Tubos sin soldadura para calderas marinas y tuberías navales a presión.
Aq 36 UNI 3965					De calidad. Planchas de acero de espesor ≧ 4,76, laminados en caliente para calderas y recipientes de presión.
Aq 38 UNI T 671					De calidad. Lingotes de acero simple corriente.
Aq 38 UNI 3158			GQ 38	St 38.81 s	De calidad. Aceros simples corrientes al C para fundir.
Aq 38 UNI 3595					Aceros al C para fundir con determinadas características magnéticas.
Aq 39 UNI 4005					De calidad. Para redondos para roblones remachados en caliente.
Aq 42 UNI 673			FQ 42	St 42.11	De calidad. Acero simple corriente, para forjar.
Aq 42 UNI 743	Aq 42	Aq 42	PQ 42	St 42.12	De calidad. Acero simple en productos laminados en caliente.
Aq 42 UNI 815	Aq 42	Aq 42	LQ 42	St 42.22	De calidad. Planchas laminadas en caliente de espesor ≧ 4 mm.
Aq 42 UNI 2633			LLQ 42		De calidad. Como el anterior con espesores de 0,6 a 4 mm.
Aq 42 UNI 3033					De calidad. Simple, en barritas y redondos.
Aq 42 UNI 3143					De calidad. Simple, en flejes laminados en caliente.
Aq 42 UNI 3596 (crudo o recocido)					De calidad. Barras estiradas de uso general.
Aq 42 UNI 3597 (crudo o recocido)					Como el anterior, con características controladas.
Aq 42 UNI 3965					De calidad. Planchas de espesor ≧ 4,76 mm, laminados en caliente para calderas y recipientes a presión.
Aq 42 UNI 3983 *					De calidad. Para forjar para productos normalizados o recocidos.
Aq 42 UNI 3985					De calidad. En productos forjados.
Aq 42 UNI 3986					De calidad. En productos forjados normalizados o recocidos.
Aq 44 UNI 4005			~ TCQ 42		De alto límite de fluencia. Redondo para roblones remachados en caliente.
Aq 45 UNI 663	A 45		TQ 45	St 45.29	De calidad. Tubos de acero sin soldadura.
Aq 45 UNI T 671					De calidad. Lingotes de acero simple corriente.
Aq 45 UNI 2897					De calidad. Tubos de precisión sin soldadura, estirados en frío.
Aq 45 UNI 3158			GQ 45	Stg 45.81 s	De calidad. Simple corriente al C para fundir.

Aceros al carbono (continuación)

Tabla 236 (continuación)

ACEROS UNIFICADOS	FIAT	ILVA	FALCK	DIN	CATEGORÍA, TIPO Y EMPLEO DEL ACERO
Aq 55 UNI 2897					De calidad. Tubos de precisión sin soldadura, estirados en frío.
Aq 60 UNI 673			**FQ 60**	**St 60.11**	De calidad. Simple, corriente, para forjar.
Aq 60 UNI 743	**Aq 60**	**Aq 60**	**PQ 60**		De calidad. Simple, en productos laminados en caliente.
Aq 60 UNI 2633			**LLQ 60**		De calidad. Chapas negras recocidas, laminadas en caliente, de espesor de 0,6 a 4 mm.
Aq 60 UNI 3033					De calidad. Simple en barritas y redondos.
Aq 60 UNI 3143					De calidad. Simple, en flejes laminados en caliente.
Aq 60 UNI 3596 (crudo o recocido)					De calidad. Corriente al C en barras estiradas de uso general.
Aq 60 UNI 3597 (crudo o recocido)					Como el anterior, con características controladas.
Aq 60 UNI 3983 *					De calidad. Para forjar para productos normalizados o recocidos.
Aq 60 UNI 3985					De calidad. Corriente al C, en productos forjados.
Aq 60 UNI 3986					De calidad. En productos forjados, forjados normalizados o recocidos.
Aq 65 UNI 663	**A 65**		**T 65**	**St 65.29**	De calidad. Tubos sin soldadura.
Aq 65 UNI 2897					De calidad. Tubos de precisión sin soldadura, estirados en frío.
Aq 65 UNI 3840					De calidad. Laminado en caliente en carriles ferroviarios.
Aq 70 UNI 673			**FQ 70**	**St 70.11**	De calidad simple, corriente para forjar.
Aq 70 UNI 2633			**LLQ 70**		De calidad. Chapas negras recocidas de espesor de 0,6 a 4 mm, laminados en caliente.
Aq 70 UNI 3033					De calidad. En barritas y redondos.
Aq 70 UNI 3143					De calidad. En flejes laminados en caliente.
Aq 70 UNI 3596 (crudo o recocido)					De calidad, en barras estiradas de uso corriente.
Aq 70 UNI 3597 (crudo o recocido)					Como el anterior, con características controladas.
Aq 70 UNI 3983 *					De calidad. Para forjar para productos normalizados o recocidos.
Aq 70 UNI 3985					De calidad. Corriente al C en productos forjados.
Aq 70 UNI 3986					Como el anterior, normalizados o recocidos.
Aq 72 UNI 3839					De calidad. Laminado en caliente en carriles ferroviarios.
Aq 75 UNI 3966					De calidad. Laminado en caliente en carriles para tranvías con garganta.

Aceros especiales	FIAT	ILVA	SIAU	SELVA		
C 7 I UNI 3145					Ilssa H 8	
C 7 II UNI 3145					Ilssa Z 6	
C 7 III UNI 3145					Ilssa T 30	
C 7 IV UNI 3145					Ilssa X 45	
C 8 UNI 3872						
C 9 (UNI S 116)	C 9					
C 10 (UNI 2953)	CA	C 10	CU		Ilssa 11	
C 10 UNI 3597 (crudo y normalizados)						
C 10 cementados UNI 3987						
C 10 recocidos UNI 3987						
C 15 (UNI 2953)	C 1 A	C 15	C 1		Ercole EA 1	
C 15 cementados UNI 3987						
C 15 recocidos UNI 3987						
C 16 (UNI S 116)		~ C 15				
C 19 UNI 3872						
C 20 (UNI 2954)	C 2	B 2	C 2	E 20	Ilssa 12	
C 20 UNI 3597 (bonificado o crudo o normalizado)						
C 20 UNI 3608						
C 20 bonificados UNI 3988						

Tabla 237

		COGNE	BREDA	SAE	TERNI	CATEGORÍA, TIPO Y EMPLEO DEL ACERO
	CECA D					Acero especial simple. Chapas para embutir en frío, de espesor de 0,3 a 4 mm.
	CECA EDD					
	CECA SEDD					
	CECA SSEDD					
						Acero especial al C, tubos sin soldadura para calderas marinas y tuberías navales de precisión.
		∼A 0	**∼B 0**	**∼10.10**		Especial para tubos y chapas de estructuras soldadas.
	Selva E 10	**A 0 C**	**B 0**	**10.10**	**T 11 S**	Especial al C para cementar.
						Especial al C en barras estiradas con características controladas.
						Especial al C en productos forjados, cementados y tratados.
						Ídem, para cementar.
	Selva E 15	**A 1 C**	**B 1**	**10.15**	**T 10 S**	Especial al C para cementar.
						Especial al C en productos forjados, cementados y tratados.
						Ídem, para cementar.
	Flieg 1100	**∼A 1**	**∼B 1**	**∼10.15**		Especial al C para tubos y chapas de estructuras soldadas.
						Especial al C, tubos sin soldadura, para calderas marinas y tuberías navales de presión.
	Flieg 1110	**A 2**	**B 2**	**10.20**	**T 9 S**	Especial al C para bonificar.
						Especial al C en barras estiradas con características controladas.
						Especial al C para fundir piezas resistentes en caliente a esfuerzos mecánicos.
						Especial al C en productos forjados bonificados.

ACEROS UNIFICADOS	FIAT	ILVA	SIAU	SELVA		
C 20 recocidos UNI 3988						
C 30 (UNI 2954)	C 3	B 3	C 3	E 30	Ilssa 13	
C 30 UNI 3597 (bonificado, crudo o normalizado)						
C 30 bonificados UNI 3988						
C 30 recocidos UNI 3988						
C 40 (UNI 2954)	C 4	B 4	C 4	E 40	Ilssa 14	
C 40 UNI 3597 (bonificado, crudo o normalizado)						
C 40 bonificados UNI 3988						
C 40 recocidos UNI 3988						
C 45 (UNI 3545)	~ C 42					
C 50 (UNI 2954)	C 5	B 5	C 5		Ilssa 15	
C 50 UNI 3597 (bonificado, crudo o normalizado)						
C 50 bonificados UNI 3988						
C 50 recocidos UNI 3988						
C 60 (UNI 2954)	C 6	B 6	~ C 6			
C 60 (UNI 3545)						
C 60 bonificados UNI 3988						
C 60 recocidos UNI 3988						
C 72 (UNI 3545)	MA	C 72	N 65			
C 85 (UNI 3545)	~ MAS					
C 98 (UNI 3545)	MAR	C 98				

Tabla 237 (continuación)

		COGNE	BREDA	SAE	TERNI	CATEGORÍA, TIPO Y EMPLEO DEL ACERO.
						Ídem para bonificar.
	Flieg 1120	**A 3**	**B 3**	**10.30**	**T 8 S**	Especial al C para bonificar.
						Especial al C en productos forjados bonificados.
						Ídem para bonificar.
	Flieg 1130	**A 4**	**B 4**	**10.40**	**T 6 S**	Especiales al C para bonificar.
						Especial al C en barras estiradas con características controladas.
						Especial al C en productos forjados bonificados.
						Ídem para bonificar.
	~ Flieg 1130	**~ A 5**	**~ B 5**			Especial al C para muelles.
	Flieg 1140	**A 5**	**B 5**	**10.50**		Especial al C para bonificar.
						Especial al C en barras estiradas con características controladas.
						Especial al C en productos forjados bonificados.
						Ídem para bonificar.
	Flieg 1150	**A 6**	**B 6**	**10.60**		Especial al C para bonificar.
						Especial al C para muelles.
						Especial al C en productos forjados bonificados.
						Ídem para bonificar.
		A 7		**10.74**		Especial al C para muelles.
						Especial al C para muelles.
	Flieg 1182			**10.95**		Especial al C para muelles.

ACEROS UNIFICADOS	FIAT	ILVA	SIAU			
U 40 WC 20 (UNI 2955)	~ CWLX	~ KW 3	~ KT			
U 42 NCD 167 (UNI 2955)	~ MTC 2	MKN 4	~ MA			
U 52 NCD 6 (UNI 2955)	SCN 2 X	MNK 5	M 10	Selva SNM	Phönix Arg	
U 52 WC 20 (UNI 2955)	TPX	KW 4	KTD		Phönix U 3	
U 85 MV 8 (UNI 2955)	ISVX		F			
U 100 CM 4 (UNI 2955)	UCMS			Selva UCM		
U 100 WC (UNI 2955)	PBS		KTH	Selva UWC 1		
U 115 W (UNI 2955)	SW 1		W 1	Selva UW 1		
UC 70 (UNI 2955)	U 4 X	C 5		Selva U 70		
UC 85 (UNI 2955)	U 4	C 4	E 5	Selva ~ U 80		
UC 100 (UNI 2955)	U 3	C 3	E 4	Selva U 100	Phönix EZH	
UC 110 (UNI 2955)	U 2	C 2	E 3	Selva U 110		
UX 28 W 9 (UNI 2955)	SVE	KW 1	RDS			
UX 35 CD 5 (UNI 2955)			MTC		Phönix HP (superior)	
UX 75 W 18 (UNI 2955)	RL	RR 3	RS		Phönix Pluto G	
UX 80 WK 185 (UNI 2955)	RD	RR 2	RSO		Phönix Hansa (especial) K 5	
UX 80 WK 1810 (UNI 2955)		RR 1	ROC		Phönix Hansa (especial) K 10	
UX 80 WV 18 (UNI 2955)	RLV		RSK		Phönix 57 Pluto G	
UX 82 DW 9 (UNI 2955)						
UX 82 WD 65 (UNI 2955)			RSA		Phönix DHS	
UX 90 W 8 (UNI 2955)	RA 3	RR 4	Mars 8		Phönix DT 17 T	
UX 150 CD 12 (UNI 2955)			KORS			

Tabla 237 (continuación)

			COGNE	BREDA			CATEGORÍA, TIPO Y EMPLEO DEL ACERO
			~IBO	TW 2	Terni ~M 2 S 2		Acero especial para herramientas para trabajo en caliente.
			STA	R 5 S	Terni STS 2		Ídem.
		Cobianchi KCMS	GNTS	R 0 S	Terni ~STS 5		Ídem.
	Cravetto PA 1	Cobianchi CW 2 M	~1 B 1	KT 2	Terni M 2 S 3		Acero especial para herramientas para trabajo en frío.
			IND	INV	Terni IND		Ídem.
	Cravetto I 2	Cobianchi EMI 3	CKM	STO	Terni SF Terni CKM		Ídem.
	Cravetto AT 1	Cobianchi EMI 4	CTK 1	KTC	Terni M 2 S 7		Ídem.
			CT	KT	Terni M 2 S 6		Ídem.
	Cravetto FA 1	Cobianchi CB 1	6*	S 6	Terni M 11		Acero especial al C para herramientas.
	Cravetto FA 2	Cobianchi CB 2	5*		Terni M 12		Ídem.
	Cravetto L 100	Cobianchi CB 3	4*	S 4	Terni M 13		Ídem.
	Cravetto L 110	Cobianchi CB 4	3*	S 3	Terni M 14		Ídem.
		Cobianchi CW 9	TD	TW 9	Terni Pet 3		Acero especial para herramientas para trabajo en caliente.
				CVD			Ídem.
				Golia			Acero rápido.
	Marathon Kobalt II Super Extra		EV*	Romano 5	Terni 3 PK 2		Ídem.
	Marathon Kobalt I Ultra		EV**	Romano 10			Ídem.
	Marathon Rapid Spezial		MB***	David			Ídem.
							Ídem.
	Marathon Mo 20			RW 65			Ídem.
	Cravetto AR 8	Cobianchi Vo	MB 8	RW 8	Terni SAB		Ídem.
				Cristal 2			Acero especial para herramientas para trabajo en frío.

ACEROS UNIFICADOS	FIAT	ILVA	SIAU			
UX 200 C 13 (UNI 2955)	TCR 2	CK 2	K 12	Selva UXC		
X 3 CN 1911 UNI 4047					ALSI 304 L	
X 6 CN 1911 UNI 4047						
X 8 CA 13 UNI 4047					» 405	
X 8 CN 1910 UNI 4047	Enduro 18-8 S			Ilssa INI	» 304	
X 8 CN 2520 UNI 4047				Ilssa AT 15	» 310 S	
X 8 CND 1712 UNI 4047				Ilssa INMI	» 316	
X 8 CNNb 1811 UNI 4047				Ilssa INC	» 347	
X 8 CNT 1810 UNI 4047	Enduro 18-8 ST			Ilssa INS	» 321	
X 10 CN 188 (UNI 3161)				Ilssa INL	» 303	
X 10 CND 188 (UNI 3161)						
X 10 CNT 188 (UNI 3161)						
X 12 C 17 UNI 4047				Ilssa ICS	» 430	
X 12 CA 12 UNI 4047						
X 12 CA 23 UNI 4047						
X 12 CN 1811 UNI 4047	Enduro 18-8 FS			Ilssa INT	» 305	
X 15 C 13 UNI 4047	Enduro S-1		FIP	Ilssa IC	» 410	
X 15 CF 13 UNI 4047	Enduro FC				» 416	
X 15 CN 1707 UNI 4047	Enduro 17/7			Ilssa IND	» 301	
X 15 CN 1808 UNI 4047	Enduro 18/8			Ilssa IN	» 302	
X 15 CNF 1808 UNI 4047	Enduro 18-8 FM			Ilssa INL	» 303	
X 16 CN 19 UNI 4047						
X 17 CN 188 (UNI 3161)						
X 20 C 12 (UNI 3161)						
X 20 C 13 UNI 4047			U 12			
X 20 CN 16 UNI 4047					» 431	
X 20 CN 2412 UNI 4047	Enduro HCN			Ilssa AT 13	» 309	
X 20 CN 2412 (UNI 3161)						

Tabla 237 (continuación)

		COGNE	BREDA			CATEGORÍA, TIPO Y EMPLEO DEL ACERO)
Cravetto CCT 2	Cobianchi CRO 13	SOR 2	Cristal 1			Acero especial para herramientas para trabajo en frío.
		~ N 10 XL				Al Cr-Ni, resistencia a la corrosión y al calor
		N 10 XS	~ Nica 304 B			Ídem.
Marathon Remanit 1510 Al						Al Cr-Al, resistente c. s.
SAE 30.304		10 XA	Nica 304			Al Cr-Ni, c. s.
						Ídem.
» 30.316	SIS 2342	N 10 XM				Al Cr-Ni-Mo, resistente c. s.
» 30.347	» 2333					Al Cr-Ni-Nb, resistente c. s.
» 30.321		N 10 XT	~ Nica 321			Al Cr-Ni-Ti, resistente a la corrosión.
» 30.303						Al Cr-Ni, resistente a la corrosión.
						Al Cr-Ni-Mo, resistente c. s.
						Al Cr-Ni-Ti, resistente c. s.
» 51.430	» 2320	FE 0 X				Al Cr, resistente a la corrosión y al calor.
		ALK 10				Al Cr-Al, resistente c. s.
		ALK 12				Ídem.
» 30.305	» 2334					Al Cr-Ni, resistente c. s.
» 51.410	» 2302	10 X O	~ CM 10			Al Cr, resistente c. s.
» 51.416 F						Al Cr-S, resistente c. s.
» 30.301			Nica 301			Al Cr-Ni, resistente c. s.
» 30.302	Marathon Runanit 1880 A	N 10 X	Nica 302			Ídem.
» 30.303						Al Cr-Ni-S, resistente c. s.
		FN 0 X				Al Cr-Ni, resistente c. s.
						Al Cr-Ni. Para piezas fundidas resistentes a la corrosión.
						Al Cr. Para piezas fundidas resistentes a la corrosión.
						Al Cr, resistente a la corrosión y al calor.
» 51.431	SIS 2321	KX 2	NK 431			Al Cr-Ni, resistente c. s.
» 30.309			NK 309			Ídem.
		V 10 XT				Al Cr-Ni, resistente a la corrosión.

ACEROS UNIFICADOS		FIAT	ILVA	SIAU		
X 25 C 13 (UNI 3159)						
X 25 C 26 (UNI 3161)				Ilssa Inf. 30	ALSI 446	
X 25 C 26 UNI 4047						
X 25 CN 1533 (UNI 3159)						
X 25 CN 2412 (UNI 3159)						
X 25 CN 2420 (UNI 3159)						
X 25 CN 2520 UNI 4047	Enduro NC-3	Aisi 310		Ilssa ATI 5	» 310	
X 32 C 13 UNI 4047			P 12	MIC	» 420	
X 40 C 14 UNI 4047			S 12			
X 43 CS 8 UNI 3992						
X 45 CN 28 (UNI 3159)						
X 45 CNW 1909 UNI 3992						
X 50 CNW 1414 UNI 3992						
X 80 CSN 20 UNI 3992						
X 110 CN 17 (UNI 3097)						
X 120 M 12 (UNI 3160)						
X 200 C 13 (UNI 3160)			IN 12	Ilssa Triumphator		
12 F 1 (UNI S 114)	AB 40					
12 F 2 (UNI S 114)	AB 40 B			Ilssa AV	» B 1113	
12 NC 3 (UNI 2953)	FOB	CNK 1	G 10			
14 CN 5 (UNI 2953)	FOD		G 12	Selva NCM 1		
15 CND 3 (UNI 2953)						
15 NC 5 (UNI 2953)	F 1 B	CNK 2	G 12 L			
15 NC 11 (UNI 2953)	F 2 C	CNK 5	G 2			

Tabla 237 (continuación)

			COGNE	BREDA			CATEGORÍA, TIPO Y EMPLEO DEL ACERO
	SAE 51.446	SIS 2322					Al Cr. Para piezas fundidas resistentes al calor.
							Especial al Cr para piezas fundidas resistentes a la corrosión.
							Ídem, resistentes a la corrosión y al calor.
							Especial al Cr-Ni para piezas fundidas resistentes al calor.
							Ídem.
				NK 310			Ídem.
	» 30.310	» 2361	R 10 X				Especial al Cr-Ni resistente a la corrosión y al calor.
	» 51.420		10 X 3	~ CM 13	Phönix ARH semiduro		Especial al Cr, resistente a la corrosión y al calor.
					Phönix ARH duro		Ídem.
			S 10 X	RAS			Inoxidable al Cr-Si especial para válvulas y asientos para motores de combustión interna.
							Especial al Cr-Ni resistente a la corrosión y al calor.
		Marathon Termax 12F	VRX				Inoxidable al Cr-Ni-W especial para válvulas y asientos de motores de combustión interna.
							Ídem.
			SKX				Ídem al Cr-Si-Ni.
							Especial para cojinetes de rodamiento.
							Especial al Mn para piezas fundidas resistentes al desgaste.
							Especial al Cr, para piezas fundidas c. s.
	» 1111						Especial para tornillería.
	» 1112			12 F 2	Flieg 1040		Ídem.
			NG 0	CN 10			Al Ni-Cr aleado para cementar.
	» ~3115		NG 2	CNM 1	Terni ~ CT 5		Al Cr-Ni, ídem.
				CND 3			Al Ni-Cr-Mo, ídem.
	» 3115			CN 15	Terni CT 5		Al Ni-Cr, ídem.
	» 3415		CG 2	CN 25	Terni CT 2		Ídem.

ACEROS UNIFICADOS		FIAT	ILVA	SIAU		
16 CD 3 UNI 3872			KM 10			
16 CD 3 UNI 3965						
16 MC 5 (UNI 2953)	EC 80		YV	Selva ACD		
17 NCD 7 (UNI 2953)			G 15 S			
18 NC 13 (UNI 2953)	F 2 D	CNK 6				
18 NC 16 (UNI 2953)	F 4	CNK 7	G 5 T	Selva G 5		
19 CN 5 (UNI 2953)	FOE	CKN	G 14	Selva NCM 2		
19 NCD 4 (UNI 2953)	FOM		∼ K 2 D			
20 CD 4 UNI 3608						
20 D 4 UNI 3608						
20 M 4 UNI 3965						
20 M 5 UNI 3965						
20 M 6 (UNI S 116)	∼ CIMD					
20 NCD 2 (UNI 2953)		FOCM	HD 20			
22 F 1 (UNI S 114)	AB 50					
25 CD 4 (UNI 2954)			UM 5	Ilssa CMA		
25 MC 6 (UNI S 116)	SMC 2	BK 4	SA 3			
25 MC 6 (UNI 2954)	SMC 2		SA 3	Ilssa VAS		
28 MCV 5 (UNI S 114)						
28 MCV 5 (UNI S 116)						
30 CD 10 (UNI 3096)	CRMF		∼ KM 2			
30 CV 10 (UNI S 114)						
30 NCD 12 (UNI 2954)	V 3 M	BNKM 4	KNMO			
30 NCD 15 (UNI 3160)						

Tabla 237 (continuación)

			COGNE	BREDA			CATEGORÍA, TIPO Y EMPLEO DEL ACERO
			~ KMB				Al Cr-Mo, tubos de acero sin soldadura para calderas de vapor y recipientes de presión.
							Al Cr-Mo. Planchas de espesor ≧ 4,76 mm, laminadas en caliente c. s.
	SAE 5115		KG 2	CM 1	Terni CTA 2		Al Mn aleado para cementar.
	» 4317		CR 4	CND 7			Al Ni-Cr-Mo, ídem.
	» 3316			CN 35	Terni CT 1		Al Ni-Cr, ídem.
			CG 4		CT		Ídem.
	» 3120		NG 4	CMN 2	CT 4		Al Cr-Ni, ídem.
			CR 2	R 25			Al Ni-Cr-Mo, ídem.
							Al Cr. Especial para piezas fundidas resistentes en caliente a solicitaciones mecánicas.
							Al Mo. Ídem.
							Al Mn. Planchas de espesor ≧ 4,76 milímetros, para calderas de vapor y recipientes a presión.
							Ídem.
	» ~1320				Flieg ~ 1263		Al Mn. Especial para tubos y planchas para estructuras soldadas.
	» 8620						Al Cr-Ni-Mo. Aleado para cementar.
				LA 21	Flieg ~ 1042		Especial para tornillería.
			KM OS	CV 2			Al Cr-Mo. Aleado para bonificar.
			MNK	CMS			Al Cr-Mn. Especial para tubos y chapas para estructuras soldadas.
	» ~4118	Selva BK 4	MNK	CMS	Flieg 1132		Al Cr-Mo. Aleado para bonificar.
					Flieg 1604		Especial para tornillería.
							Especial para tubos y chapas para estructuras soldadas.
			KMV	ND 1			Especial para nitruración.
					Flieg 1610		Especial para tornillería.
			GNM	R 3	Terni PTM		Al Cr-Ni-Mo. Aleado para bonificar.
							Al Cr-Ni-Mo. Especial para piezas fundidas resistentes al desgaste.

ACEROS UNIFICADOS		FIAT	ILVA	SIAU		
32 CD 4 (UNI 2954)	CR MC		KD 7	Selva ~ UM 7		
53 CM 4 (UNI S 114)	VMC 3	BK 5	YCM	Selva CM		
35 CM 4 (UNI 2954)						
35 MS 5 (UNI 2954)	V 3 MS	BMS		Selva AMS		
35 NC 5 (UNI 2954)	V 1 B		NC 35			
35 NC 5 (UNI S 114)						
35 NC 9 (UNI 2954)	V 2 B	BNKI	KN			
35 NCD 7 (UNI 2954)			NCM 4-B			
35 NCD 15 (UNI 2954)	V 4 M	BNKM 5	KNAS			
38 CAD 7 (UNI 3096)						
38 CD 4 (UNI 2954)	CRMD					
38 NCD 4 (UNI 2954)	VOMBC	BNKM 2	NCM 2	Phönix NCN		
40 C 4 (UNI 2954)	VCRCD	BKC	YD	Selva C 4		
40 NCD 7 (UNI 2954)			NCM 4			
42 CAD 7 (UNI 3096)						
48 S 5 (UNI 3545)	~ MFS	~ SM 2	MSB			
50 CV 4 (UNI S 114)	MVE		KVR			
50 CV 4 (UNI 3545)						
52 S 8 (UNI 3545)	MS	SMI	MSA			
52 SC 5 (UNI 3545)			MSC			
52 SCN 5 (UNI 3545)			MSK			
52 SCV 5 (UNI 3545)			MSK			
90 C 4 (UNI 3160)						
100 C 6 (UNI 3097)	CRC	CK	KS			
100 CM 4 (UNI 3097)	CMC	CKO	KSI			
I UNI 4010						
II UNI 4010						
III UNI 4010						
IV UNI 4010						
V UNI 4010						

Tabla 237 (continuación)

			COGNE	BREDA			CATEGORÍA, TIPO Y EMPLEO DEL ACERO
			KMO	CV 3			Al Cr-Mo. Aleado para bonificar.
	SAE 5135	Terni CSM 3-4	K 4 S	CM 3	Flieg ~ 1253		Especial para tornillería.
							Al Cr-Mn. Aleado para bonificar.
	» 1137	Terni MS 2			Flieg ~ 1254		Al Mn-Si. Aleado para bonificar.
	» 3135			CN 1			Al Ni-Cr. Aleado para bonificar.
							Especial para tornillería.
		Terni PT 1-2	GN 5	CN 2			Al Cr-Ni. Aleado para bonificar.
	» 4335		CR 5	R 2 B			Al Ni-Cr-Mo. Aleado para bonificar.
		Terni AJAX S	TPR 1	R 5			Al Cr-Ni-Mo. Aleado para bonificar.
			LK 3	NA 2			Especial para nitruración.
	» 4140		KM 1	CV 4			Al Cr-Mo. Aleado para bonificar.
	» 9840	Terni PT 4 M	GNB 2	R 2			Al Cr-Ni-Mo. Aleado para bonificar.
	» 5140	Terni CR 2	K 4	C 4			Al Cr. Aleado para bonificar.
	» 4340		CR 6	R 2 A			Al Ni-Cr-Mo. Aleado para bonificar.
			VK 3	NA 1			Especial para nitruración.
			~TPS	M 4 F			Al Si. Especial para muelles.
	» 6150		MCU		Flieg 1610		Al Cr-V. Especial para tornillería.
							Al Cr-V. Especial para muelles.
	» 9255		MNS	M 5			Al Si. Especial para muelles.
			KOS				Al Si-Cr. Especial para muelles.
			NOS				Al Si-Cr-Ni. Especial para muelles.
			NOS	MSK			Al Si-Cr-V. Especial para muelles.
	» 52100		CK 3	AC	Flieg 1256		
			CKM				
							Especial para piezas fundidas de elevadas características mecánicas.
							Ídem.
							Ídem.
							Ídem.
							Ídem.

Siglas UNI correspondientes a los aceros más conocidos en el comercio **Tabla 238**

Sigla	Unificación o fabricante	Acero UNI correspondiente
AB 40	FIAT	12 F 1 UNI S 114
AB 40 B	FIAT	12 F 2 UNI S 114
AC	BREDA	100 C 6 UNI 3097
ACD	SELVA	16 MC 5 UNI 2953
AJAXS	TERNI	35 NCD 15 UNI 2954
ALK 10	COGNE	X 12 CA 12 UNI 4047
ALK 12	COGNE	X 12 CA 23 UNI 4043
AMS	SELVA	35 MS 5 UNI 2954
AO	COGNE	C 10 UNI 2953
AP super	PHÖNIX	C 40 UNI 2954
ARG	PHÖNIX	U 52 NCD 6 UNI 2955
Avio E 15	SELVA	C 15 UNI 2953
ARL	PHÖNIX	(X 20 CN 16 UNI 4047)
ARH semiduro	PHÖNIX	X 32 C 13 UNI 4047
ARH duro	PHÖNIX	X 40 C 14 UNI 4047
ARH	PHÖNIX	X 20 C 13 UNI 4047
AR 8	CRAVETTO	UX 90 W 8 UNI 2955
AT 1	CRAVETTO	U 100 WC UNI 2955
AT 13	ILSSA	X 20 CN 2412 UNI 4047
AT 15	ILSSA	X 25 CN 2520 UNI 4047
AT 15	ILSSA	X 8 CN 2520 UNI 4047
AV	ILSSA	12 F 2 UNI S 114
A 1	COGNE	C 15 UNI 2953
A 3	COGNE	C 30 UNI 2954
A 4	COGNE	C 40 UNI 2954
A 5	COGNE	C 50 UNI 2954
A 6	COGNE	C 60 UNI 2954
A 7	COGNE	C 72 UNI 3545
BKC	ILVA	40 C 4 UNI 2954
BK 4	ILVA	25 MC 6 UNI 2954
BK 5	ILVA	35 CM 4 UNI S 114
BNKM 2	ILVA	38 NCD 4 UNI 2954
BNKM 5	ILVA	35 NCD 15 UNI 2954
BNKM 4	ILVA	30 NCD 12 UNI 2954
BNK 1	ILVA	35 NC 9 UNI 2954
BMS	ILVA	35 MS 5 UNI 2954
B 0	BREDA	C 10 UNI 2953
B 1	BREDA	C 15 UNI 2953
B 2	ILVA y BREDA	C 20 UNI 2954
B 3	ILVA y BREDA	C 30 UNI 2954
B 4	ILVA y BREDA	C 40 UNI 2954
B 5	ILVA	C 50 UNI 2954
B 6	ILVA	C 60 UNI 2954
B 1113	AISI	12 F 2 UNI S 114
CA	FIAT	C 10 UNI 2953
CB 1	COBIANCHI	UC 70 UNI 2955
CB 2	COBIANCHI	UC 85 UNI 2955
CB3	COBIANCHI	UC 100 UNI 2955
CB 4	COBIANCHI	UC 110 UNI 2955
CT 5	TERNI	(14 CN 5 UNI 2953)
CCT 2	CRAVETTO	UX 200 C 13 UNI 2955
CG 2	COGNE	15 NC 11 UNI 2953
CG 4	COGNE	18 NC 16 UNI 2953
CK	ILVA	100 C 6 UNI 3097
CKM	COGNE	100 CM 4 UNI 3097
CKM	TERNI	U 100 WC UNI 2955
CKM	COGNE	U 100 CM 4 UNI 2955
CKN	ILVA	19 CN 5 UNI 2953
CKO	ILVA	100 CM 4 UNI 3097
CK 2	ILVA	UX 200 C 13 UNI 2955
CK 3	COGNE	100 C 6 UNI 3097
CIMD	FIAT	20 M 6 UNI S 116
CM	SELVA	35 CM 4 UNI S 114
CMA	ILSSA	25 CD 4 UNI 2954
CMC	FIAT	100 CM 4 UNI 3097
CMN 1	BREDA	14 CN 5 UNI 2953
CMN 2	BREDA	19 CN 5 UNI 2953

Sigla	Unificación o fabricante	Acero UNI correspondiente
CMS	BREDA	25 MC 6 UNI 2954
CM 1	BREDA	16 MC 5 UNI 2953
CM 3	BREDA	35 CM 4 UNI S 114
CM 10	BREDA	(X 15 C 13 UNI 4047)
CM 13	BREDA	X 32 C 13 UNI 4047
CND 7	BREDA	17 NCD 7 UNI 2953
CNK 1	ILVA	12 NC 3 UNI 2953
CNK 2	ILVA	15 NC 5 UNI 2953
CND 3	BREDA	15 CND 3 UNI 2953
CNK 5	ILVA	15 NC 11 UNI 2953
CNK 6	ILVA	18 NC 13 UNI 2953
CNK 7	ILVA	18 NC 16 UNI 2953
CN 1	BREDA	35 NC 5 UNI 2954
CN 2	BREDA	35 NC 9 UNI 2954
CN 10	BREDA	12 NC 3 UNI 2953
CN 15	BREDA	15 NC 5 UNI 2953
CN 35	BREDA	18 NC 13 UNI 2953
CRC	FIAT	100 C 6 UNI 3097
CRD 13	COBIANCHI	UX 200 C 13 UNI 2955
Cristal 1	BREDA	UX 200 C 13 UNI 2955
CRMC	FIAT	32 CD 4 UNI 2954
CRMD	FIAT	38 CD 4 UNI 2954
CRMF	FIAT	30 CD 10 UNI 3096
CR 2	TERNI	40 C 4 UNI 2954
CR 2	COGNE	19 NCD 4 UNI 2953
CR 4	COGNE	17 NCD 7 UNI 2953
CR 5	COGNE	35 NCD 7 UNI 2954
CR 6	COGNE	40 NCD 7 UNI 2954
CSM 3-4	TERNI	35 CM 4 UNI S 114
CT	COGNE	U 115 W UNI 2955
CT	TERNI	18 NC 16 UNI 2953
CTKI	COGNE	U 100 WC UNI 2955
CT 1	TERNI	18 NC 13 UNI 2953
CTA 2	TERNI	16 MC 5 UNI 2953
CT 2	TERNI	15 NC 11 UNI 2953
CT 4	TERNI	19 CN 5 UNI 2953
CT 5	TERNI	15 NC 5 UNI 2953
CU	SIAU	C 10 UNI 2953
CVD	BREDA	UX 35 CD 5 UNI 2955
CV 2	BREDA	25 CD 4 UNI 2954
CV 3	BREDA	32 CD 4 UNI 2954
CV 4	BREDA	38 CD 4 UNI 2954
CWLX	FIAT	U 40 WC 20 UNI 2955
CW 2 M		U 52 WC 20 UNI 2955
CW 9	COBIANCHI	UX 28 W 9 UNI 2955
C 1 A	FIAT	C 15 UNI 2953
C 2	FIAT	C 20 UNI 2954
C 2	SELVA	UC 110 UNI 2955
C 3	ILVA	UC 100 UNI 2955
C 3	FIAT	C 30 UNI 2954
C 4	FIAT	C 40 UNI 2954
C 4	SELVA y BREDA	40 C 4 UNI 295
C 4	ILVA	UC 85 UNI 2955
C 5	FIAT	C 50 UNI 2954
C 5	ILVA	UC 70 UNI 2955
C 6	FIAT	C 60 UNI 2954
C 42	FIAT	(C 45 UNI 3545)
C 110	CRAVETTO	UC 110 UNI 2955
D	CECA	C 7 I UNI 3145
David	BREDA	UX 80 WV 18 UNI 2955
DHS	PHÖNIX	UX 82 WD 65 UNI 2955
DT 17 T	PHÖNIX	UX 90 W 8 UNI 2955
EAI	ERCOLE	C 15 UNI 2953
EC 80	FIAT	16 MC 5 UNI 2953
EDD		C 7 II UNI 3145
EMI 3	COBIANCHI	U 100 CM 4 UNI 2955
EMI 4	COBIANCHI	U 100 WC UNI 2955

Tabla 238 (continuación)

Sigla	Unificación o fabricante	Acero UNI correspondiente
Enduro 18-8 S	FIAT	X 8 CN 1910 UNI 4047
Enduro 18-8 STI	FIAT	X 8 CNT 1810 UNI 4047
EV*	COGNE	UX 80 WK 185 UNI 2955
EV**	COGNE	UX 80 WK 1810 UNI 2955
EZH	PHÖNIX	UC 100 UNI 2955
E 3	SIAU	UC 110 UNI 2955
E 4-	SIAU	UC 100 UNI 2955
E 5	SIAU	UC 85 UNI 2955
E 10	SELVA	C 10 UNI 2953
EMI 4	COBIANCHI	U 100 WC UNI 2955
Enduro FC	FIAT	X 15 CF 13 UNI 4047
Enduro HCN	FIAT	X 20 CN 2412 UNI 4047
Enduro NC 3	FIAT	X 25 CN 2520 UNI 4047
Enduro S-1	FIAT	X 15 C 13 UNI 4047
Enduro 17/7	FIAT	X 15 CN 1707 UNI 4047
Enduro 18/8	FIAT	X 15 CN 1808 UNI 4047
Enduro 18/8 FM	FIAT	15 CNF 1808 UNI 4047
Enduro 18-8 FS	FIAT	X 12 CN 1811 UNI 4047
E 20	SELVA	C 20 UNI 2954
E 30	SELVA	C 30 UNI 2954
E 40	SELVA	C 40 UNI 2954
E 55	SELVA	(C 50 UNI 2954)
F	SIAU	U 85 MV 8 UNI 2955
FA 1	CRAVETTO	UC 70 UNI 2955
FA 2	CRAVETTO	UC 85 UNI 2955
FEOX	BREDA	X 12 C 17 UNI 4047
FIP	SIAU	X 15 C 13 UNI 4047
FNOX	COGNE	X 16 CN 19 UNI 4047
FOB	FIAT	12 NC 3 UNI 2953
FOCM	ILVA	20 NCD 2 UNI 2953
FOD	FIAT	14 NC 5 UNI 2953
FOE	FIAT	19 CN 5 UNI 2953
FOM	FIAT	19 NCD 4 UNI 2953
FIB	FIAT	15 NC 5 UNI 2953
F 2 C	FIAT	15 NC 11 UNI 2953
F 2 D	FIAT	18 NC 13 UNI 2953
F 4	FIAT	18 NC 16 UNI 2953
GNB 2	COGNE	38 NCD 4 UNI 2954
GNM	COGNE	30 NCD 12 UNI 2954
GNTS	COGNE	U 52 NCD 6 UNI 2955
GN 5	COGNE	35 NC 9 UNI 2954
Golia	BREDA	UX 75 W 18 UNI 2955
G 2	SIAU	15 NC 11 UNI 2953
G 5	SELVA	18 NC 16 UNI 2953
G 5 T	SIAU	18 NC 16 UNI 2953
G 10	SIAU	12 NC 3 UNI 2953
G 12	SIAU	14 CN 5 UNI 2953
G 14	SIAU	19 CN 5 UNI 2953
G 15 S	SIAU	17 NCD 7 UNI 2953
Hansa especial K 5	PHÖNIX	UX 80 WK 185 UNI 2955
Hansa especial K 10	PHÖNIX	UX 80 WK 1810 UNI 2955
HD 20	SIAU	20 NCD 2 UNI 2953
HP Superior		UX 35 CD 5 UNI 2955
H 8	ILSSA	C 7 I UNI 3145
KCM 5	COBIANCHI	U 52 NCD 6 UNI 2955
KCMS	COBIANCHI	U 52 NCD 6 UNI 2955
KD 7	SIAU	32 CD 4 UNI 2954
KG 2	COGNE	16 MC 5 UNI 2953
KMB	COGNE	(16 CD 3 UNI 3872)
KMD	COGNE	32 CD 4 UNI 2954
KMOS	COGNE	25 CD 4 UNI 2954
KMV	COGNE	30 CD 10 UNI 3096
KM 1	COGNE	38 CD 4 UNI 2954
KM 2	SIAU	(30 CD 10 UNI 3096)
KM 10	SIAU	16 CD 3 UNI 3872
KN	SIAU	35 NC 9 UNI 2954

Sigla	Unificación o fabricante	Acero UNI correspondiente
KNAS	SIAU	35 NCD 15 UNI 2954
KNMO	SIAU	30 NCD 12 UNI 2954
KORS	SIAU	UX 150 CD 12 UNI 2955
KOS	COGNE	52 SC 5 UNI 3545
KS	SIAU	100 C 6 UNI 3097
KS 1	SIAU	100 CM 4 UNI 3097
KT	BREDA	U 115 W UNI 2955
KTC	BREDA	U 100 WC UNI 2955
KTD	SIAU	U 52 WC 20 UNI 2955
KTH	SIAU	U 100 WC UNI 2955
KT 1	BREDA	U 40 WC 20 UNI 2955
KT 2	BREDA	U 52 WC 20 UNI 2955
KVR	SIAU	50 CV 4 UNI S 114
K W 1	ILVA	UX 28 W 9 UNI 2955
KW 3	ILVA	(U 40 WC 20 UNI 2955)
KW 4	ILVA	U 52 WC 20 UNI 2955
KX 2	COGNE	X 20 CN 16 UNI 4047
K 2 D	SIAU	(19 NCD 4 UNI 2953)
K 4	COGNE	40 C 4 UNI 2954
K 4 S	COGNE	35 CM 4 UNI S 114
K 12	SIAU	UX 200 C 13 UNI 2955
IBO	COGNE	U 40 WC 20 UNI 2955
IC	ILSSA	X 15 C 13 UNI 4047
ICS	ILSSA	X 12 C 17 UNI 4047
IN	ILSSA	X 15 CN 1808 UNI 4047
INC	ILSSA	X 8 CNNb 181 UNI 4047
IND	COGNE	U 85 MV 8 UNI 2955
IND	ILSSA	X 15 CN 1707 UNI 4047
Inf 30	ILSSA	X 25 C 26 UNI 3161
INI	ILSSA	X 8 CN 1910 UNI 4047
INL	ILSSA	X 10 CN 188 UNI 3161
INL	ILSSA	15 CNF 1808 UNI 4047
INMI	ILSSA	X 8 CND 1712 UNI 4047
INS	ILSSA	X 8 CNT 1810 UNI 4047
INT	ILSSA	X 12 CN 1811 UNI 4047
INV	BREDA	U 85 MV 8 UNI 2955
IN 12	SIAU	X 200 C 13 UNI 3160
IOXA	BREDA	X 8 CA 13 UNI 4047
IOXO	COGNE	X 15 C 13 UNI 4047
ISVX	FIAT	U 85 MV 8 UNI 2955
I 2	CRAVETTO	U 100 CM 4 UNI 2955
LA 21	BREDA	25 CD 4 UNI 2954
LK 3	COGNE	38 CAD 7 UNI 3096
L 100	CRAVETTO	UC 100 UNI 2955
MA	FIAT	C 72 UNI 3545
MA	SIAU	U 42 NCD 167 UNI 2955
MAR	FIAT	C 98 UNI 3545
Mars 8	SIAU	UX 90 W 8 UNI 2955
MAS	FIAT	(C 85 UNI 3545)
MA 3 Maso	PHÖNIX	X 10 CND 188 UNI 3161
MB***	COGNE	UX 80 WV 18 UNI 2955
MB 8	COGNE	UX 90 W 8 UNI 2955
MCV	COGNE	50 CV 4 UNI S 114
MFS	FIAT	48 S 5 UNI 3545
MKN 4	ILVA	U 42 NCD 167 UNI 2955
MIC	ILSSA	X 32 C 13 UNI 4047
MNK	COGNE	25 MC 6 UNI S 116
MNK 5	ILVA	U 52 NCD 6 UNI 2955
MNS	COGNE	52 S 8 UNI 3545
MS	FIAT	52 S 8 UNI 3545
MSB	SIAU	48 S 5 UNI 3545
MSC	SIAU	52 SC 5 UNI 3545
MSK	BREDA y SIAU	52 SCV 5 UNI 3545
MS 2	TERNI	35 MS 5 UNI 2954
MTC	SIAU	UX 35 CD 5 UNI 2955
MTC 2	FIAT	U 42 NCD 167 UNI 2955
MVE	FIAT	50 CV 4 UNI S 114
M 4 F	BREDA	48 S 5 UNI 3545

Tabla 238 (continuación)

Sigla	Unificación o fabricante	Acero UNI correspondiente
M 5	BREDA	52 S 8 UNI 3545
M 8 A	SIAU	52 S 8 UNI 3545
M 10	SIAU	U 52 NCD 6 UNI 2955
M 11	TERNI	UC 70 UNI 2955
M 12	TERNI	UC 85 UNI 2955
M 13	TERNI	UC 100 UNI 2955
M 14	TERNI	UC 110 UNI 2955
M 2 S 6	TERNI	U 115 W UNI 2955
M 2 S 3	TERNI	U 52 WC 20 UNI 2955
M 2 S 7	TERNI	U 100 WC UNI 2955
M 2 S 2	TERNI	U 40 WC 20 UNI 2955
NAI	BREDA	42 CAD 7 UNI 3096
NA 2	BREDA	38 CAD 7 UNI 3096
NCN	PHONIX	38 NCD 4 UNI 2954
NCMI	SELVA	14 CN 5 UNI 2953
NCM 2	SELVA	19 CN 5 UNI 2953
NCM 2	SIAU	38 NCD 4 UNI 2954
NCM 4-B	SIAU	35 NCD 7 UNI 2954
NC 35	SIAU	35 NC 5 UNI 2954
ND 1	BREDA	30 CD 10 UNI 3096
ND 5	BREDA	U 52 NCD 6 UNI 2955
NGO	COGNE	12 NC 3 UNI 2953
NG 2	COGNE	14 CN 5 UNI 2953
GG 4	COGNE	19 CN 5 UNI 2953
NICA 301	BREDA	X 15 CF 13 UNI 4047
NICA 302	BREDA	X 15 CN 1808 UNI 4047
NICA 304 B	BREDA	X 6 CN 1911 UNI 4047
NICA 304	BREDA	X 8 CN 1910 UNI 4047
NICA 321	BREDA	X 8 CNT 1810 UNI 4047
NIOXL	COGNE	(X 3 CN 1911 UNI 4047)
NIOXM	COGNE	X 8 CND 1712 UNI 4047
NIOXS	COGNE	X 6 CN 1911 UNI 4047
NIOXT	COGNE	X 8 CNT 1810 UNI 4047
NK 309	BREDA	X 20 CN 2412 UNI 4047
NK 310	BREDA	X 25 CN 2520 UNI 4047
NK 431	BREDA	X 20 CN 16 UNI 4047
NOS	COGNE	52 SCN 5 UNI 3545
NSK	SIAU	52 SCN 5 UNI 3545
U 4	PHÖNIX	U 40 WC 20 UNI 2955
N 65	SIAU	C 72 UNI 3545
PA 1	CRAVETTO	U 52 WC 20 UNI 2955
PBS	FIAT	U 100 WC UNI 2955
PET 3	TERNI	UX 28 W 9 UNI 2955
Pluto G	PHÖNIX	UX 75 W 18 UNI 2955
PTM	TERNI	30 NCD 12 UNI 2954
PT 1-2	TERNI	35 NC 9 UNI 2954
PT 4 M	TERNI	38 NCD 4 UNI 2954
P 12	SIAU	X 32 C 13 UNI 4047
RA 3	FIAT	UX 90 W 8 UNI 2955
RD	FIAT	UX 80 WK 185 UNI 2955
RDS	SIAU	UX 28 W 9 UNI 2955
Remanit 1880 A	MARATHON	X 15 CN 1808 UNI 4047
RIOX	COGNE	X 25 CN 2520 UNI 4047
RL	FIAT	UX 75 W 18 UNI 2955
RLV	FIAT	UX 80 WV 18 UNI 2955
ROC	SIAU	UX 80 WK 1810 UNI 2955
Romano	BREDA	UX 80 WK 185 UNI 2955
Romano 10	BREDA	UX 80 WK 1810 UNI 2955
ROS	BREDA	U 52 NCD 6 UNI 2955
RS	SIAU	UX 75 W 18 UNI 2955
RSA	SIAU	UX 82 ND 65 UNI 2955
RSK	SIAU	UX 80 WV 18 UNI 2955
RSO	SIAU	UX 80 WK 185 UNI 2955
RR 1	ILVA	UX 80 WK 1810 UNI 2955
RR 2	ILVA	UX 80 WK 185 UNI 2955
RR 3	ILVA	UX 75 W 18 UNI 2955
RR 4	ILVA	UX 90 W 8 UNI 2955
RW 8	BREDA	UX 90 W 8 UNI 2955

Sigla	Unificación o fabricante	Acero UNI correspondiente
R 2	BREDA	38 NCD 4 UNI 2954
R 2 A	BREDA	40 NCD 7 UNI 2954
R 2 B	BREDA	35 NCD 7 UNI 2954
R 3	BREDA	30 NCD 12 UNI 2954
R 5	BREDA	35 NCD 15 UNI 2954
R 25	BREDA	19 NCD 4 UNI 2953
SAB	TERNI	UX 90 W 8 UNI 2955
SCN 2 X	FIAT	U 52 NCD 6 UNI 2955
SEDD	CECA	C 7 III UNI 3145
SF	TERNI	U 100 CM 4 UNI 2955
SKX	COGNE	X 80 CSN 80 UNI 3992
SMI	ILVA	52 S 8 UNI 3545
SM 2	ILVA	(48 S 5 UNI 3545)
SMC 2	FIAT	25 MC 6 UNI 2954
SNM	SELVA	U 52 NCD 6 UNI 2955
SOR 2	COGNE	UX 200 C 13 UNI 2955
SSEDD	CECA	3 7 IV UNI 3145
STA	COGNE	U 42 NCD 167 UNI 2955
STO	BREDA	U 100 CM 4 UNI 2955
STS 2	TERNI	U 42 NCD 167 UNI 2955
STS 5	TERNI	U 52 NCD 6 UNI 2955
SVE	FIAT	UX 28 W 9 UNI 2955
SW 1	FIAT	U 115 W UNI 2955
S 3	BREDA	UC 110 UNI 2955
S 4	BREDA	UC 100 UNI 2955
S 6	BREDA	UC 70 UNI 2955
S 12	SIAU	X 40 C 14 UNI 4047
TCR 2	FIAT	UX 200 C 13 UNI 2955
TD	COGNE	UX 28 W 9 UNI 2955
Termax 12 F	MARATHON	X 45 CNW 1909 UNI 3992
TPR 1	COGNE	35 NCD 15 UNI 2954
TPS	COGNE	(48 S 5 UNI 3545)
TPX	FIAT	U 52 WC 20 UNI 2955
Triumphator	ILSSA	X 200 C 13 UNI 3160
TW 9	BREDA	UX 28 W 9 UNI 2955
T 2 S	TERNI	C 60 UNI 2954
T 6 S	TERNI	C 40 UNI 2954
T 8 S	TERNI	C 30 UNI 2954
T 9 S	TERNI	C 20 UNI 2954
T 10 S	TERNI	C 15 UNI 2953
T 11 S	TERNI	C 10 UNI 2953
T 30	ILSSA	C 7 III UNI 3145
T 4 S	TERNI	C 50 UNI 2954
UCM	SELVA	U 100 CM 4 UNI 2955
UCMS	FIAT	U 100 CM 4 UNI 2955
UM 5	SIAU	25 CD 4 UNI 2954
UM 7	SELVA	(32 CD 4 UNI 2954)
UWC-1	SELVA	U 100 WC UNI 2955
UW 1	SELVA	U 115 W UNI 2955
UXC	SELVA	UX 200 C 13 UNI 2955
UX 4	FIAT	UC 70 UNI 2955
U 2	FIAT	UC 110 UNI 2955
U 3	FIAT	UC 100 UNI 2955
U 3	PHÖNIX	U 52 WC 20 UNI 2955
U 4	FIAT	UC 85 UNI 2955
U 4 X	FIAT	UC 70 UNI 2955
U 5	BREDA	C 50 UNI 2954
U 6	BREDA	C 60 UNI 2954
U 12	SIAU	X 20 C 13 UNI 4047
U 70	SELVA	UC 70 UNI 2955
U 80	SELVA	UC 85 UNI 2955
U 100	SELVA	UC 100 UNI 2955
U 110	SELVA	UC 110 UNI 2955
VAS	ILSSA	25 MC 6 UNI 2954
VERCD	FIAT	40 C 4 UNI 2954
VK 3	COGNE	42 CAD 7 UNI 3096
VIOXT	COGNE	X 20 CN 2412 UNI 3161
VMC 2 V	FIAT	28 MCV 5 UNI S 114

Tabla 238 (continuación)

Sigla	Unificación o fabricante	Acero UNI correspondiente
VMC 3	FIAT	35 CM 4 UNI S 114
VO	COBIANCHI	UX 90 W 8 UNI 2955
VOMBC	FIAT	38 NCD 4 UNI 2954
VRX	COGNE	X 45 CNW 1909/3992
V 1 B	FIAT	35 NC 5 UNI 2954
V 2 B	FIAT	35 NC 9 UNI 2954
V 3 M	FIAT	30 NCD 12 UNI 2954
V 3 MS	FIAT	35 MS 5 UNI 2954
V 4 M	FIAT	35 NCD 15 UNI 2954
W 1	SIAU	U 115 W UNI 2955
X 45	ILSSA	C 7 IV UNI 3145
YCM	SIAU	35 CM 4 UNI S 114
YD	SIAU	40 C 4 UNI 2954
YV	SIAU	16 MC 5 UNI 2953
Z 6	ILSSA	C 7 II UNI 3145
1 B 1	COGNE	U 52 WC 20 UNI 2955
3°	COGNE	UC 110 UNI 2955
3 PK 2	TERNI	UX 80 WK 185 UNI 2955
4°	COGNE	UC 100 UNI 2955
5°	COGNE	UC 85 UNI 2955
6°	COGNE	UC 70 UNI 2955
8 A 3	SIAU	25 MC 6 UNI 2954
10 X 3	COGNE	X 32 C 13 UNI 4047
12	ILSSA	C 20 UNI 2954
12 F 2	BREDA	12 F 2 UNI S 114
13	ILSSA	C 30 UNI 2954
15	ILSSA	C 50 UNI 2954
57 Pluto G		UX 80 UV 18 UNI 2955
301	AISI	X 15 CF 13 UNI 4047
302	AISI	X 15 CN 1808 UNI 4047
303	AISI	X 10 CN 188 UNI 3161
303	AISI	15 CNF 1808 UNI 4047
304	AISI	X 8 CN 1910 UNI 4047
304 L	AISI	X 3 CN 1911 UNI 4047
305	AISI	X 12 CN 1811 UNI 4047
309	AISI	X 20 CN 2412 UNI 4047
310	AISI	X 25 CN 2520 UNI 4047
310 S	AISI	X 8 CN 2520 UNI 4047
316	AISI	X 8 CND 1712 UNI 4047
321	AISI	X 8 CNT 1810 UNI 4047
347	AISI	X 8 CNNb 1811 UNI 4047
405	AISI	X 8 CA 13 UNI 4047
410	AISI	X 15 C 13 UNI 4047
416	AISI	X 15 CF 13 UNI 4047
420	AISI	X 32 C 13 UNI 4047
430	AISI	X 12 C 17 UNI 4047
431	AISI	X 20 CN 16 UNI 4047
446	AISI	X 25 C 26 UNI 3161
1010	SAE	C 10 UNI 2953
1015	SAE	C 15 UNI 2953
1020	SAE	C 20 UNI 2954
1030	SAE	C 30 UNI 2954
1040	FLIEG	12 F 2 UNI S 114
1040	SAE	C 40 UNI 2954
1042	FLIEG	(22 F 1 UNI S 114)
1060	SAE	C 60 UNI 2954
1074	SAE	C 72 UNI 3545
1080	SAE	C 50 UNI 2954
1095	SAE	C 98 UNI 3545
1100	FLIEG	C 16 UNI S 116
1110	FLIEG	C 20 UNI 2954
1111	SAE	12 F 1 UNI S 114
1112	SAE	12 F 2 UNI S 114
1120	FLIEG	C 30 UNI 2954
1132	FLIEG	25 MC 6 UNI 2954
1137	SAE	35 MS 5 UNI 2954
1140	FLIEG	C 50 UNI 2954
1150	FLIEG	C 60 UNI 2954
1182	FLIEG	C 98 UNI 3545
1253	FLIEG	(35 CM 4 UNI S 114)
1254	FLIEG	(35 MS 5 UNI 2954)
1256	FLIEG	100 C 6 UNI 3097
1263	FLIEG	20 M 6 UNI S 116
1320	SAE	20 M 6 UNI S 116
1604	FLIEG	28 MCV 5 UNI S 114
1610	FLIEG	50 CV 4 UNI S 114
2302	SIS	X 15 C 13 UNI 4047
2320	SIS	X 12 C 17 UNI 4047
3321	SIS	X 20 CN 16 UNI 4047
2322	SIS	X 25 C 26 UNI 3161
2333	SIS	X 8 CNNb 1811 UNI 4047
2334	SIS	X 12 CN 1811 UNI 4047
2342	SIS	X 8 CND 1712 UNI 4047
2361	SIS	X 25 CN 2520 UNI 4047
3115	SAE	15 NC 5 UNI 2953
3120	SAE	19 CN 5 UNI 2953
3135	SAE	35 NC 5 UNI 2954
3316	SAE	18 NC 13 UNI 2953
3414	SAE	15 NC II UNI 2953
4118	SAE	(25 MC 6 UNI 2954)
4140	SAE	38 CD 4 UNI 2954
4317	SAE	17 NCD 7 UNI 2953
4335	SAE	35 NCD 7 UNI 2954
4340	SAE	40 NCD 7 UNI 2954
5115	SAE	16 MC 5 UNI 2953
3135	SAE	35 CM 4 UNI S 114
5140	SAE	40 C 4 UNI 2954
6150	SAE	50 CV 4 UNI S 114
8620	SAE	20 NCD 2 UNI 2953
9255	SAE	52 S 8 UNI 3545
9840	SAE	38 NCD 4 UNI 2954
30301	SAE	X 15 CF 13 UNI 4047
30302	SAE	X 15 CN 1808 UNI 4047
30303	SAE	15 CNF 1808 UNI 4047
30303	SAE	X 10 CN 188 UNI 3161
30304	SAE	X 8 CN 1910 UNI 4047
30305	SAE	X 12 CN 1811 UNI 4047
30309	SAE	X 20 CN 2412 UNI 4047
30310	SAE	X 25 CN 2520 UNI 4047
30316	SAE	X 8 CND 1712 UNI 4047
30321	SAE	X 8 CNT 1810 UNI 4047
30347	SAE	X 8 CNNb 1811 UNI 4047
51410	SAE	X 15 C 13 UNI 4047
51416 F	SAE	X 15 CF 13 UNI 4047
51420	SAE	X 32 C 13 UNI 4047
51430	SAE	X 12 C 17 UNI 4047
51431	SAE	X 20 CN 16 UNI 4047
51446	SAE	X 25 C 26 UNI 3161
52100	SAE	100 C 6 UNI 3097

8. Fundiciones

Las fundiciones, aleaciones de hierro-carbono, que se trabajan por fusión y no por forja, están muy extendidas en las aplicaciones mecánicas.

La cementita que contienen las fundiciones puede descomponerse parcial o totalmente, como ya se ha dicho antes, en hierro y grafito. Esta descomposición, al igual que la microestructura de los componentes de la fundición, puede ser regulada convenientemente mediante la adición de sustancias especiales (por ejemplo, el magnesio) o con tratamientos adecuados, o también siguiendo técnicas diversas durante el proceso de fusión. En consecuencia, hay numerosos tipos de fundiciones, cada uno con características propias, que lo hacen especialmente apto para un determinado sector de aplicación.

En noviembre de 1959, con una serie de 11 tablas (**UNI 4366**), se ha publicado la unificación de las definiciones y de la clasificación de las fundiciones brutas, no aleadas y aleadas. Dicha unificación concuerda con los resultados de los trabajos desarrollados en el seno de la Comunidad Europea del Carbón y del Acero (C.E.C.A.) y comprende no sólo las fundiciones brutas obtenidas por reducción del mineral en el alto horno, en el bajo horno, en el horno eléctrico, en el horno giratorio, etc., sino también la fundición obtenida por recarburación del acero en cualquier planta metalúrgica (fundición sintética), siempre que no esté producida en una fundición y colada directamente en su forma definitiva.

La clasificación de las fundiciones se basa en su composición, según el siguiente esquema:

Fundiciones brutas

no aleadas

ordinarias

para afino: *fundición Bessemer* (serie 0000); *fundición Thomas* (serie 1000); *fundición Martin* (serie 2000);
para moldeo: serie 3000; serie 4000; serie 5000;
con características especiales (serie 6000);

aleadas (serie 7000)

fundición especular;
fundición al fósforo;
otras fundiciones.

Para efectos de unificación se indican con el nombre de fundiciones brutas los productos férricos con un contenido mínimo de 1,9 % de carbono, destinados a posteriores transformaciones y que contienen como elemento principal en peso, el hierro.

En las fundiciones brutas los demás elementos componentes están sujetos a los siguientes límites:

Fósforo	$\leq$ 15 %	Cromo	$\leq$ 30 %
Silicio	$\leq$ 8 %	Wolframio	$\leq$ 40 %
Manganeso	$\leq$ 30 %	Otros elementos (aluminio, cobre, molibdeno, níquel, azufre, titanio, vanadio, etc.), sumados	$\leq$ 10 %.

Estos límites son válidos naturalmente para las **fundiciones aleadas.**

Para las **fundiciones no aleadas** el contenido máximo de los diversos elementos es el siguiente:

Fósforo	$\leq$ 2,50 %	Níquel	$\leq$ 0,30 %
Silicio	$\leq$ 8,00 %	Azufre	$\leq$ 0,08 %
Manganeso	$\leq$ 6,00 %	Titanio	$\leq$ 0,20 %
Cromo	$\leq$ 0,20 %	Otros elementos	$\leq$ 0,10 %
Cobre	$\leq$ 0,30 %	(para cada uno).	

Las fundiciones no aleadas ordinarias, como se ha dicho, se dividen en **fundiciones para afino,** destinadas a la fabricación de acero mediante afino, y **fundiciones para moldeo,** destinadas a la fabricación de piezas fundidas.

Las fundiciones de afino se dividen en:

Fundición Bessemer, destinada a la fabricación de acero en el convertidor, con producción de escoria ácida poco usada en Europa.

Fundición Thomas, destinada a la fabricación de acero en el convertidor, con producción de escoria básica.

Fundición Martin, destinada a la fabricación de acero por el procedimiento Martin-Siemens, con adición de chatarra.

Se prescinde de la enumeración de los varios tipos de estas fundiciones y de su composición, puesto que no interesan al dibujante.

Las *fundiciones para moldeo,* destinadas a la fabricación de piezas fundidas, se caracterizan por su contenido en fósforo, según la tabla 239.

Las fundiciones con contenido de fósforo hasta un 0,5 % se designan provisionalmente, según el porcentaje de fósforo, silicio y manganeso, con los **números de serie** que resultan de la tabla 240.

Además de la reciente clasificación de las fundiciones que se acaba de exponer, se usan en la práctica otras denominaciones, que se refieren principalmente a sus características. Esta clasificación vulgar se ha resumido en la tabla 241.

Sólo se ha unificado una pequeña parte de las fundiciones. Se copian en algunas tablas los datos que interesan a los dibujantes, tanto para tipos unificados como no unificados, pero de uso muy extendido (tablas 242 a 246).

Tabla 239

Composición de las fundiciones para moldeo, según su contenido en fósforo			
Calidad		Con proporción de fósforo hasta 0,5 %	Con proporción de fósforo superior a 0,5 %
% máximo	Carbono	> 3,5 ≤ 4,5	> 3,2 ≤ 4,5
	Fósforo	≤ 0,5	> 0,5 ≤ 2,0
	Silicio	> 1,0 ≤ 6,0	> 1,0 ≤ 6,0
	Manganeso	> 0,7 ≤ 1,5	> 0,7 ≤ 1,5
	Azufre	≤ 0,06	≤ 0,08
Serie		De 3000 a 4500	De 4600 a 5000

Tabla 240

Composición provisional con **números de serie** de las fundiciones, según el porcentaje de fósforo, silicio, manganeso

Fósforo %	Manganeso %	Proporción de silicio %									
		1 ÷ 1,5	1,5 ÷ 2	2 ÷ 2,5	2,5 ÷ 3	3 ÷ 3,5	3,5 ÷ 4	4 ÷ 4,5	4,5 ÷ 5	5 ÷ 5,5	5,5 ÷ 6
≤ 0,08	0,7 ÷ 1	3234	3242	3252	3262	3272	3282	3292	3302	3312	3322
	1 ÷ 1,5	3233	3243	3253	3263	3273	3283	3293	3303	3313	3323
0,08 ÷ 0,12	0,7 ÷ 1	3432	3442	3452	3462	3472	3482	3492	3502	3512	3522
	1 ÷ 1,5	3433	3443	3453	3463	3473	3483	3493	3503	3513	3523
0,12 ÷ 0,16	0,7 ÷ 1	4032	4042	4052	4062	4072	4082	4092	4102	4112	4122
	1 ÷ 1,5	4033	4043	4053	4063	4073	4083	4093	4103	4113	4123
0,16 ÷ 0,30	0,7 ÷ 1	4232	4242	4252	4262	4272	4282	4292	4302	4312	4322
	1 ÷ 1,5	4233	4243	4253	4263	4273	4283	4293	4303	4313	4323
0,30 ÷ 0,50	0,7 ÷ 1	4432	4442	4452	4462	4472	4482	4492	4502	4512	4522
	1 ÷ 1,5	4433	4443	4453	4463	4473	4483	4493	4503	4513	4523
0,50 ÷ 0,70	0,7 ÷ 1	4632	4642	4652	4662	4672	4682	4692	4702	4712	4722
	1 ÷ 1,5	4633	4643	4653	4663	4673	4683	4693	4703	4713	4723
0,70 ÷ 1,0	0,7 ÷ 1	4832	4842	4852	4862	4872	4882	4892	4902	4912	4922
	1 ÷ 1,5	4833	4843	4853	4863	4873	4883	4893	4903	4913	4923
1,0 ÷ 1,4	0,7 ÷ 1	5032	5042	5052	5062	5072	5082	5092	5102	5112	5122
	1 ÷ 1,5	5033	5043	5053	5063	5073	5083	5093	5103	5113	5123
1,4 ÷ 2,0	0,7 ÷ 1	5232	5242	5252	5262	5272	5282	5292	5302	5312	5322
	1 ÷ 1,5	5233	5243	5253	5263	5273	5283	5293	5303	5313	5323

Tabla 241

Clasificación práctica y característica de las fundiciones	
Fundiciones blancas	El carbono se halla en forma de carburo de hierro (cementita): estructura argéntica, frágil, durísima; funden a ∾ 1100° C: de imposible o mal mecanizado en frío, debido a su dureza y fragilidad. Tienen generalmente un porcentaje indispensable de manganeso, que facilita la formación de la cementita, dificultando la grafitización, especialmente si la velocidad de enfriamiento es elevada. Se emplean para fabricar piezas que hayan de resultar de gran dureza y que en su funcionamiento no estén sometidas a choques (mandíbulas de trituradoras, corazas de molinos, bombas para barros, etc.). Más empleada como material de partida para la obtención de fundición maleable.
Fundiciones maleables	La fundición blanca, calentada durante bastante tiempo a la temperatura conveniente, se maleabiliza (sin llegar nunca a ser forjable), es decir, adquiere una pequeña resistencia a la tracción y las piezas fundidas se pueden aún enderezar, si han experimentado una deformación moderada. La maleabilidad se puede obtener por diferentes procedimientos: a) **Método europeo o de núcleo blanco.** Piezas (pequeñas o por lo menos de poco espesor) encerradas en una caja que contiene el material oxidante (polvo de óxido de hierro) que ha de producir una descarburación, se mantienen durante un tiempo de 90 a 120 horas a 800-900° C. b) **Método americano** (o de núcleo negro). Ambiente neutro; calentamiento lentísimo de 40-50 horas para llegar **gradualmente** a la temperatura ambiente de ∾ 820° C; mantenimiento de esta temperatura durante 50 horas; enfriamiento lentísimo de unas 60 horas de duración. Se produce la grafitización de la cementita en nódulos. c) **Método Robiette** (variante moderna del método europeo). Las piezas de fundición blanca se ponen en un horno (de 900 a 1050° C) en ambiente oxidante (mezcla de óxido de carbono, 20 % y anhídrido carbónico) que descarbura la fundición, dejando el núcleo blanco. La fundición maleable de núcleo blanco puede presentar estructura de matriz ferrítica, perlítica o sorbítica, según sea la estructura de la fundición de que se ha partido. Puede mecanizarse y soldarse y tiene buena resistencia mecánica, especialmente después de un tratamiento de bonificado.
Fundiciones grises	El carbono se halla en parte en forma de grafito y en parte en forma de cementita, uniformemente distribuidos, por lo que la fractura es gris. Porcentaje de carbono alrededor de 3,4 %: son de buen mecanizado, con buena resistencia a la compresión, frágiles, de dureza mediana o moderada. De extraordinario empleo en el moldeo mecánico. Hay cinco tipos unificados (véase tabla 242).
Fundiciones atruchadas	El carbono se halla aquí también en parte en forma de grafito y en parte en forma de cementita; pero distribuidos irregularmente por lo que la sección se presenta con manchas.
Fundiciones negras	Todo o casi todo el carbono se presenta en estado grafítico, por lo que la fractura es negra. Características semejantes a los de la fundición gris, pero de inferior calidad; por lo que se emplean menos.
Fundiciones meheaníticas	Fundiciones especiales, patentadas, obtenidas por inoculación del siliciuro de calcio en la fundición líquida en el momento de la colada, con lo que se obtiene una grafitización finísima, que da una estructura compacta (laminillas grafíticas pequeñísimas en estructura perlítica) con buena resistencia a las solicitaciones mecánicas, notable facilidad de mecanizado, soldabilidad y capacidad de recocido, temple y revenido.
Fundiciones esferoidales	Obtenidas con la adición de magnesio-níquel a la fundición ordinaria (con porcentaje de carbono 3 ÷ 4 %, Si, 1,5 ÷ 2,5 %; Mn ≤ 0,6 %; S ≤ 0,05 %; P ≤ 0,1 %) que produce la formación de pequeños nódulos o esferas en la masa perlítica o férrica o austenítica de la fundición. Se han difundido recientemente en la técnica mecánica, por sus excelentes propiedades mecánicas y tecnológicas que les han permitido sustituir en muchas aplicaciones a los aceros; presentan fluidez, colabilidad, resistencia al desgaste, a la corrosión y al calor como las fundiciones; facilidad de mecanizado, ductilidad, resistencia a las solicitaciones, alargamiento y resiliencia mucho mayores; cierta soldabilidad; posibilidad de recocido, normalizado y temple.
Fundiciones especiales (aleadas)	La adición de níquel, cromo, molibdeno acrecienta algunas de sus propiedades. Algunas de éstas han recibido nombres especiales (Ni-resist., etc.). Hay muchísimos tipos con adición de elementos aleados (cromo, níquel, silicio, molibdeno, etc.) que acrecientan algunas propiedades, dan a las piezas fundidas variadas estructuras, etc. Se emplean para coquillas, estampas para aleaciones ligeras, etc. No están unificadas: cada tipo se acostumbra indicar con la indicación de la aplicación más característica, como se ve en la tabla 244; en la cual se han copiado algunos datos de los tipos más usados corrientemente.

Tabla 242

Calidades de las fundiciones grises (lingotes) (De UNI 668-670)					
Designación convencional	Ensayo de tracción	Ensayo de flexión			Aplicaciones
	Carga unitaria de rotura R kg/mm²	Carga mínima de rotura P' kg	Carga unitaria de rotura R' kg/mm²	Flecha mínima de rotura f mm	
G 00 UNI 668	—	—	—	—	Piezas fundidas en general sin requisitos especiales.
G 15 UNI 668	**15**	**500**	**28**	**7**	Piezas en general: bancadas poco cargadas.
G 18 UNI 668	**18**	**600**	**34**	**7**	Piezas en general. Zapatas para frenos de ferrocarril. Bancadas.
G 22 UNI 668	**22**	**700**	**40**	**7**	Piezas en general. Discos de fricción. Culatas de motores. Bancadas cargadas. Engranajes. Volantes.
G 26 UNI 668	**26**	**800**	**46**	**8**	Piezas cargadas. Piezas resistentes al desgaste. Tambores de frenos. Cilindros de compresores.

N. B. Ensayos de tracción UNI 556; de flexión UNI 559. Tratamientos tolerables: recocido para mejorar la maquinabilidad; estabilización para eliminar las tensiones internas; endurecimiento para aumentar la resistencia superficial al desgaste.

Tabla 243

Piezas moldeadas de fundición maleable (De UNI 3779)									
Tipo de fundición	Designación convencional UNI	Características mecánicas (ensayos obligatorios)					Ensayos facultativos		Aplicaciones
		Ensayo de tracción							
		Diámetro de la probeta mm	Carga R de rotura (mínima) kg/mm²	Alargamiento A_3 sobre una longitud 3 Ø (mínimo) %	Carga S de fluencia kg/mm²	Ensayo de dureza Brinell Hd kg/mm²	Doblado estático Diámetro del rodillo, ángulo de doblado y medidas probeta. v. tab. UNI	Ensayo de doblado dinámico de Walker	
Corriente	**GM 00**	—	—	—	—	—	—	—	Palancas, ruedas, mandos; tuberías; soportes; válvulas de agua.
	GM 35	**12**	**35**	**3**	—	—	—	—	Piezas de pequeñas dimensiones para máquinas agrícolas; órganos no cargados; válvulas de agua.
Blanca	**GMB 35**	**6** **9** **12**	**32** **34** **35**	**8** **7** **6**	**19**	**125 ÷ 200**	**sí**	—	Maquinaria textil; dispositivos de frenos ferroviarios; piezas de motocicletas y bicicletas. (Se puede soldar.)
	GMB 40	**6** **9** **12**	**36** **38** **40**	**16** **12** **10**	**22**	**125 ÷ 200**	**sí**	—	Construcciones ferroviarias y automovilísticas; máquinas agrícolas; soportes de líneas eléctricas. (Se puede soldar.)
	GMB 45	**9** **12** **15**	**45**	**5**	**25**	**170 ÷ 220**	—	—	Construcciones automovilísticas de cubos, cajas, guías, suspensiones, zapatas de frenos, casquillos, válvulas. (Se puede soldar.)
Negra	**GMN 36**	**12**	**36**	**12**	**19**	**110 ÷ 150**	**sí**	**sí**	Válvulas de agua; uniones; elementos de pequeñas dimensiones de máquinas de operaciones.
	GMN 37	**12**	**37**	**14**	**22**	**110 ÷ 150**	**sí**	**sí**	Válvulas de agua; uniones; piezas de maquinaria ligera.
	GMN 45	**12**	**45**	**5**	**28**	**150 ÷ 210**	—	—	Uniones y válvulas; órganos de máquinas, ligeros y poco cargados, maquinaria textil.

Tabla 244

Algunas de las fundiciones especiales de uso más corriente (no unificadas)

Tipo	Designación convencional	Tratamientos térmicos: Recocido °C	Tratamientos térmicos: Temple °C	Tratamientos térmicos: Revenido °C	Características mecánicas: Ensayos de tracción y flexión: Carga de rotura **R** kg/mm²	Características mecánicas: Ensayos de tracción y flexión: Carga de rotura **R'** kg/mm²	Características mecánicas: Dureza Brinell **Hd** kg/mm² (máximo)	Aplicaciones
Para segmentos de émbolos	**GS 1**					60	240 ÷ 250	Aviación.
	GS 2					50	220 ÷ 240	Automóviles y motores diesel.
	GS 3					60	220 ÷ 240	Para segmentos centrifugados de calidad.
	GS 4				22 ÷ 30	35 ÷ 45	180 ÷ 220	Para segmentos y para gruesos segmentos para diesel rápidos.
Para cilindros y tubos de los cilindros	**GS 10**		850 aceite o sales	de 350 a 430 aire			290 ÷ 350	Cilindros y monobloques de automóviles y compresores.
	GS 11		850 aceite o sales	de 350 a 430 aire	30	55	∼ 400	Cilindros y monobloques de automóviles y diesel rápidos.
	GS 12		de 800 a 820 aceite	∼ 300 aire			400 ÷ 450	Tubos de cilindros para motores de automóvil y diesel rápidos. Engranajes.
	GS 13							Tubos de cilindros centrifugados.
Antifricción	**GS 26**	de 600 a 620			27	48	180 ÷ 230 en el núcleo	Guías de válvulas. Guías de empujadores. Pistones de automóvil.
Para volantes, árboles, poleas, engranajes	**GS 27**				32	52	∼ 250 en el núcleo	Pistones. Asientos de válvulas.
	GS 28				28	52	∼ 220 en el núcleo	Volantes de automóvil. Poleas para grandes cargas.
	GS 30				38	60	∼ 230 en el núcleo	Cigüeñales. Engranajes. Pistones
	GS 31	900	540		45		260	Cigüeñales.
	GS 32							Engranajes muy cargados (reductores y motores de automóviles); piezas expuestas a desgaste por abrasión.
	GS 38		850 aceite o sales	de 350 a 430 aire	38	58	∼ 300 en el núcleo	Idem.
Para nitruración	**GS Ni**						∼ 240 en el núcleo	Tubos y bloques de cilindros. Engranajes y piezas sujetas a desgaste.
Blanca	**GB 1**			de 200 a 235	28 ÷ 38		526 ÷ 650	Culatas de cilindros. Transformadores. Bombas para dragas.
	GB 2				24 ÷ 31		400 ÷ 475	Placas de molino. Mezcladores. Cilindros y cuerpos de bomba para barros. Toberas de inyectores.
	GB 3			de 200 a 235	22 ÷ 28		525 ÷ 625	Moldeo en arena. Industria del cemento y cerámica. Trituradoras, mezcladoras. Llantas de molino.
Esferoidal	**GS f**	925		700	45 ÷ 50		180 ÷ 240	Árboles acodados para compresores. Volantes. Culatas para motores de combustión interna. Camisas de cilindros. Cubos de ruedas. Bancadas de prensas.
Resistente al calor	**Ni-Resist**							Para temperaturas elevadas de trabajo, hasta 820° C.

Tabla 245

Fundiciones esferoidales (No unificadas. Datos promedios de resistencia)							
Tipo de fundición y su designación		Características mecánicas					Características y aplicaciones
		Carga unitaria mínima de fluencia S kg/mm²	Carga unitaria mínima de rotura R kg/mm²	Alargamiento (sobre 50 mm) %	Dureza Brinell Hd kg/mm²		
Fundiciones esferoidales	Perlítica	42 (42 ÷ 53)	56 (63 ÷ 77)	3 (3 ÷ 10)	de 200 a 270		Fundicion de gran resistencia mecánica, en estado crudo de fusión. Buena resistencia al desgaste. Templable a la llama y por inducción.
	Ferrítica	32 (32 ÷ 42)	42 (42 ÷ 56)	10 (10 ÷ 25)	de 140 a 190		La estructura puede mejorarse por recocido. Tiene buena tenacidad y se trabaja bien. Templable a la llama y por inducción.
	Perlítico ferrítica	38	50	4	de 200 a 240		La estructura perlítico-ferrítica se obtiene directamente en estado crudo de fusión o bien con el adecuado tratamiento térmico.
	Martensítico sorbítica	53 ÷ 63 (53 ÷ 88)	70 – 84 (70 – 105)	2 ÷ 4 (2 ÷ 10)	de 200 a 325		Admiten tratamiento de normalizado y revenido o bien de temple y revenido. Se pueden endurecer a la llama y por inducción.
	Austenítica	22,5 (22 ÷ 25)	38,5 (38 ÷ 48)	7 (7 ÷ 40)	—		Resistentes al calor y a la corrosión. Magnéticas y fácilmente soldables.
	Resistente al calor	32 ÷ 53	42 ÷ 70	0 ÷ 20	de 140 a 300		Presenta excelente resistencia a la corrosión y a las temperaturas elevadas.
Esferoidales Ni-Resist.	D 2	22 ÷ 25	38,5 ÷ 48,5	8 ÷ 20	—		Amagnética. Resiste bien el calor y los acidos. Presenta elevada resistividad eléctrica y buena resistencia a la corrosión y al desgaste. Empleada en contrucciones eléctricas y navales.
	D 2 B	23 ÷ 26	41 ÷ 49	7 ÷ 15	—		Buena resistencia al calor, a la erosión, a las sales reductoras, al vapor vivo. Empleada para rotores de bombas, pequeñas hélices, etc.
	D 2 C	21 ÷ 24	38 ÷ 45	20 ÷ 40	—		Fácilmente soldable. Apropiada para aplicaciones a temperaturas bajas y medianas.
	D 3	23 ÷ 26	38,5 ÷ 47	7 ÷ 18	—		Presenta buena resistencia al vapor húmedo, a los barros y a los abrasivos: tiene pequeño coeficiente de dilatación. Apropiada para bombas, válvulas, cilindros para fábricas de papel, piezas sujetas a rápidas variaciones de temperatura.
	D 4	27 ÷ 31	42 ÷ 50,5	1,5 ÷ 4	—		Presenta buena resistencia a la corrosión, a la erosión y a la acción del calor, hasta la temperatura de 800° C. Tiene buena resistencia al desgaste también a bajas temperaturas.

Fundiciones meheanitas

(No unificadas. Datos más corrientes de interés para los dibujantes)

Tipos y denominaciones		Carga mínima R de rotura kg/mm²	Ensayo de flexión R' mínimo kg/mm²	Resiliencia K kgm/cm²	Dureza Brinell mínima Hd kg/mm²	Módulo de elasticidad E kg/mm²	Tratamientos térmicos y aplicaciones
Para moldeos mecánicos	GM	38	69	0,30	230	16000	Recocido: 675 ÷ 705°C; 870; temple 850 ÷ 875° C (aceite o agua); revenido 200 ÷ 430° C. Árboles acodados de compresores, motores de combustión interna. Culatas motores diesel. Camisas motores. Cuerpos de válvulas A. P. Estampas para prensas.
	GA	35	63	0,27	220	14700	Recocido: 675 ÷ 705° C; 870° C. Puede sufrir otros tratamientos. Árboles acodados para compresores y motores. Ruedas. Tambores. Engranajes para altas velocidades.
	GB	31	55	0,24	210	13400	Recocido: 670 ÷ 695° C; 860° C. Puede sufrir otros tratamientos. Ruedas. Tambores. Engranajes para velocidades medias. Volantes. Cilindros.
	GC	28	50	0,20	195	12300	Recocido: 670 ÷ 695° C; 860° C. Se trabaja fácilmente por tener el grano muy fino. Cabezales de tornos. Poleas. Partes de soportes. Bancadas de prensas. Piezas resistentes a presiones elevadas.
	GD	25	47	0,17	185	10500	Recocido: 665 ÷ 680° C; 845° C. Se trabaja fácilmente por tener el grano muy fino. Piezas de espesor menor de 6 mm. Pequeños cilindros y sus camisas correspondientes. Válvulas. Piezas para resistir presiones elevadas.
	GE	21	—	—	175	8400	Recocido: 665 ÷ 680° C; 845° C. Se trabaja fácilmente por tener el grano muy fino. Sustituye a la fundición corriente por la facilidad de mecanizado.
Para piezas moldeadas resistentes al calor	HD	23	1175 (f = 6)	—	200	12300	Piezas moldeadas ligeras y medianas, resistentes hasta 600° C. Placas de hornos, estufas. Estampas y cilindros para la fabricación del vidrio. Soportes. Tuberías para refinerías.
	HA	35	1430 (f = 7)	—	225	14800	Piezas resistentes hasta 650° C. Piezas de máquinas para moldear en coquilla. Piezas de recalentadores. Piezas de quemadores. Guías de laminadores.
	HB	27	1295 (f = 6,5)	—	300	13700	Piezas moldeadas para resistir hasta 725° C, duras, mecanizables con herramientas de carburos. Partes de hornos, de gasógenos. Crisoles. Retortas para fabricación de azúcar. Piezas de refinerías.
	HR	27	1270 (f = 4)	—	400	14800	Piezas moldeadas resistentes hasta 850° C, durísimas y de difícil mecanizado. Partes de retortas para gas. Placas para muflas. Recipientes para industria química. Quemadores, barras de parrillas y uniones de hogares.
	SC	19	650 (f = 4)	—	300	13300	Piezas moldeadas resistentes hasta 900° C, para variaciones muy lentas de temperatura. Cajas para recocer y cementar. Retortas. Partes de hornos rotativos. Parrillas y barras especiales.
	HE	23	44	—	170	—	Piezas sujetas a variaciones de temperatura. Lingoteras. Válvulas de descarga. Partes de hornos y vaporizadores. Puertas y revestimientos para hornos de coque.
Resistentes al desgaste	WA	35	—	—	230 ÷ 300	—	Admite temple y revenido. No mecanizable. Engranajes. Tambores para frenos, grúas, cabrestantes. Levas. Estampas. Cuchillas para mezcladoras.
	WAH	50	—	—	hasta 550	—	Admite temple y revenido. No mecanizable. Engranajes. Guías de válvulas. Cilindros de laminadores. Estampas para prensas. Camisas de cilindros.
	WB	27	—	—	de 300 a 550	—	No mecanizable. Revestimientos de muelas. Troqueles para ladrillería y prensas. Discos y placas para trabajos del carbón. Conducciones de grava. Cuchillas para trabajos de arcilla y arena.
	Super WH	32	—	—	580	—	No mecanizable. Instalaciones para industrias de cemento, arcilla y mosaicos. Piezas de dragas y bombas. Rotores de máquinas para chorro de arena. Placas para fabricación de abrasivos.
	WBC	32	—	—	550	—	No mecanizables. Para moldear en coquilla. Partes de máquinas para industrias de cemento, baldosas y abrasivos. Partes de dragas. Ruedas para minería.
	WEC	22	—	—	550	—	No mecanizable. Para moldeo en coquilla. Poleas de garganta. Cilindros de laminadores. Excéntricas. Pequeños engranajes. Ruedas para vagonetas de minas. Piezas finas moldeadas.
Resistentes a la corrosión	CB 3	32	—	—	195	—	Para partes en contacto con ácidos concentrados (excepto los ácidos nítrico y clorhídrico). Apropiado especialmente para ácido sulfúrico hasta 75 % y aún de 95 %.
	KC	23	—	—	195	—	Para partes que deban resistir los álcalis. Válvulas y accesorios. Bombas. Recipientes. Vaporizadores, etc.

Capítulo II

COBRE Y SUS ALEACIONES

9. Generalidades

El cobre, metal muy conocido de color rojo, con un peso específico de 8,9 kg/dm³, punto de fusión 1083° C, maleable, dúctil, muy buen conductor del calor y de la electricidad, se emplea como metal:

a) en la industria eléctrica, como conductor, en forma de hilos, cintas, etcétera.

b) laminado y batido, para calderas, autoclaves, aparatos de destilación, serpentines, tuberías de vapor, etcétera.

Las calidades del cobre están unificadas en la tabla UNI 1704-5, del modo siguiente:

CU 99,9 UNI 1704: *cobre electrolítico en cátodos* con porcentaje de cobre puro ≧ 99,9 %. (Ejemplo de aplicaciones: bronces fosforosos; aleaciones para resistencias eléctricas; aleaciones para trabajos plásticos, etcétera).

E CU 99,9 UNI 1704: *cobre electrolítico,* con porcentaje de cobre puro ≧ 99,9 %, *colado,* en lingotes, panes o barras. (Ej. de aplicaciones: barras, perfiles, cintas, chapas, tubos, hilos, para empleo exclusivo como conductores eléctricos).

CU 99,7 UNI 1704: *cobre refinado de 1.ª calidad,* con porcentaje de cobre puro ≧ 99,7 %. (Ej. de aplicaciones: barras, perfiles, chapas, tubos, hilos, manufacturas de extrusión, estampadas y forjadas, aleaciones para trabajos plásticos, etcétera).

CU 99,5 UNI 1704: *cobre refinado de 2.ª calidad,* con porcentaje de cobre puro ≧ 99,5 %. (Empleos, como el anterior.)

A CU 99,7 UNI 1704: *cobre refinado conteniendo arsénico,* con porcentaje de cobre y arsénico ≧ 99,7 % (máximo de arsénico 0,50 %). (Ej. de aplicaciones: placas, tirantes, planchas para hogares de locomotoras y en general materiales expuestos a temperaturas relativamente altas y a oxidación.)

Pero mayor importancia que los usos indicados como metal técnicamente puro, tienen sus aleaciones, cuyo consumo es enorme.

Efectivamente, después de las aleaciones siderúrgicas, las aleaciones de cobre son las de mayor aplicación en la industria mecánica y se conocen con los nombres de bronces y latones. Pueden obtenerse *por fusión* o *por fabricación plástica.*

Actualmente hay todavía cierta confusión en las aleaciones de cobre, debido al hecho de que se publicaron hace tiempo las tablas de unificación de los diferentes grupos y tipos de aleaciones de esta clase, tablas que hace poquísimo tiempo han sido sustituidas, *en parte,* por la tabla **UNI 4244**, que da numerosas definiciones y clasificaciones de las aleaciones de cobre, *limitadas a las de fabricación plástica.*

Expuesto este breve resumen de las definiciones más importantes de la tabla citada, en espera de que se complete la unificación, daremos a continuación la clasificación práctica, de uso corriente, de las aleaciones de cobre, con los datos que sean de más interés para el dibujante, datos que se han sacado en lo posible de las tablas UNI actualmente en vigor o sólo parcialmente sustituidas.

Veamos, pues, las definiciones principales contenidas en la tabla UNI 4244, en la que se indican también las diferentes normas para los *ensayos* a que se someten eventualmente las aleaciones de cobre.

Las aleaciones de cobre de fabricación plástica son las que contienen el cobre en proporción no inferior al 50 % y destinadas a la producción de semifabricados obtenidos mediante deformación plástica. Se clasifican del siguiente modo:

Aleaciones en estado bruto de fusión destinadas a ser sometidas a deformación plástica en caliente o en frío. Se designan con la sigla **P** antepuesta a la designación de la aleación separadas por un guión.

Aleaciones en estado de semifabricados, divididas en las siguientes clases:

laminados	sigla **Pl**
de extrusión	sigla **Pe**
forjados	sigla **Pf**
estampados	sigla **Ps** *
estirados	sigla **Pt** **

Las aleaciones de cobre de fabricación plástica se dividen también en los tipos que indicamos a continuación, según los elementos aleados con el cobre.

A. Latones:

a) **binarios** (sigla **OT**) ***: aleaciones de cobre conteniendo como elemento aleado único el cinc;

b) **especiales** (sigla **OTS**) ***: aleaciones de cobre conteniendo como elementos aleados, además del cinc, uno o más elementos, cada uno de ellos en cantidad inferior a la de cinc, adecuados para variar la estructura o las características de la correspondiente aleación binaria simple.

B. Alpacas (sigla **ALPA**): aleaciones ternarias de cobre conteniendo como elementos aleados al cobre, cinc en proporción superior al 10 % y níquel en cantidad variable, pero siempre suficiente para dar a la aleación color plateado.

C. Bronces:

a) **binarios** (sigla **B**): aleaciones de cobre conteniendo, como elemento aleado único, estaño;

* En italiano: stampati. *N. del T.*
** En italiano: trafilati. *N. del T.*
*** En italiano: ottoni; ottoni speciali. *N. del T.*

b) **especiales** (sigla **BS**): aleaciones de cobre conteniendo, como elementos aleados al cobre, además del estaño, uno o más elementos (ninguno de los cuales esté en proporción superior a la del estaño) adecuados para modificar la estructura o las características de la correspondiente aleación binaria simple.

D. Cuproaleaciones especiales (sigla **CU**).

El estado de suministro de los semifabricados se define indicando la forma de obtención (por laminación, extrusión, forja, estampado, estirado) y el estado físico, que puede ser uno de los siguientes:

recocido (sigla **R**); *endurecido* (sigla **H**); *templado* (sigla **T**); *bonificado* (sigla **B**); *revenido* (sigla **V**); *normalizado* (sigla **D**); *envejecido artificialmente* (sigla **A**).

El **grado de endurecimiento** se indica con un número de dos cifras (a continuación de la sigla **H**) que se calcula aplicando una de las dos fórmulas siguientes, en las que **A** y **a** son las secciones *inicial* (estado **R**) y final de la pieza; y s_0 y s_u, respectivamente, el espesor inicial y final de la pieza (lámina, cinta, etc.).

$$H = 100 \frac{A - a}{A} \qquad H = 100 \frac{s_0 - s_u}{s_0}$$

Después de estas definiciones, pasemos a tratar de los caracteres de las aleaciones de cobre.

10. Bronces

Con este nombre se designa una extensa serie de aleaciones en las que el principal elemento aleado al cobre es el estaño. Pueden contener otros elementos cuyo objeto es aumentar algunas de las propiedades de los bronces, con el fin de hacerlos más apropiados para empleos especiales. Se tienen por lo mismo los *bronces con sólo estaño*, los *bronces al cinc, al plomo*, los *bronces de aluminio*, etcétera.

Pueden, pues, los bronces adquirir, según su composición, características tecnológicas que los hagan apropiados para la producción de piezas mecánicas, ya sea por *procedimientos plásticos* (perfiles, laminados) o por medio de *fusión*: y propiedades físicas y químicas que pueden hacerlos excelentes para usos especiales. Veamos algunas de estas propiedades.

Bronces con solo estaño. Son las aleaciones conocidas ya en las épocas más remotas (Edad de Bronce) y están constituidas por cobre y estaño solamente: el cobre se halla en una proporción en peso que varía del 78 al 96 %. La adición del estaño da una aleación que tiene, comparada con el cobre, más fusibilidad y más dureza y resistencia: puede, además, darle especiales propiedades físicas y químicas (por ejemplo, la sonoridad, que hace que determinados bronces sirvan para la fabricación de campanas).

En las tablas siguientes, 247 y 248, se puede ver de qué modo influyen las proporciones de estaño en las propiedades características de la aleación.

Tabla 247

Propiedades de los bronces según el porcentaje de estaño

Resistencia a los esfuerzos	Dureza	Ductilidad	Maleabilidad	Fusibilidad	Temple	Color
La carga de rotura **R** aumenta al aumentar el porcentaje de Sn, llegando hasta R = 22 kg/mm² para Sn = 18 %. Después **R** baja rápidamente reduciéndose a 5 ÷ 6 kg/mm² cuando Sn = 40 %.	La dureza Hd aumenta al aumentar el % de Sn, hasta alcanzar Hd = 240 para Sn = 30 %; luego disminuye.	Disminuye al aumentar el % de Sn, hasta casi reducirse a cero para Sn = 30 %.	Disminuye al aumentar el % de Sn; hasta Sn = 5 ÷ 10 % los bronces se pueden trabajar en caliente y en frío. Entre el 10 y el 25 por ciento son frágiles en caliente y en frío.	La fusibilidad aumenta al aumentar el contenido de estaño: la aleación resulta más fluida que la fundición y llena bien el molde, sin rechupe, dando piezas **perfectas**.	Los bronces toman un temple **negativo**, es decir, se hacen más maleables.	El estaño (blanco) actúa como decolorante del cobre (rojo); hasta el 4 % de Sn, la aleación conserva el color rojo, del 4 al 10 % el color es dorado; luego se vuelve amarillo, y pasando del 38 por ciento de Sn el color es blanco.

Tabla 248

Usos industriales de los bronces con solo estaño

Porcentajes de estaño				
4 ÷ 7 %	8 ÷ 12 %	12 ÷ 20 %	20 ÷ 30 %	30 ÷ 36 %
Bronce para medallas Se trabaja bien en frío y por tanto es apropiado para acuñar con troqueles de acero.	**Bronce tenaz** Adecuado para piezas fundidas no sujetas a choques, pero que sean resistentes a presión, frotamiento, etc. (Ruedas dentadas, válvulas, etc.)	**Bronces duros y resistentes** Adecuados para cojinetes no sujetos a choques.	**Bronces para campanas** Duros y compactos, de sonido resonante: por su gran fluidez llenan bien los moldes.	**Bronces para espejos** Adecuados para la fabricación de espejos de color blanco reluciente, inalterables por los agentes atmosféricos.

Bronces unificados. Las tablas **UNI 1698 y 1701** unifican algunos tipos de bronces de solo estaño. La tabla 1698 se refiere a los tipos corrientes que se encuentran en el comercio en forma de *panes;* la 1701, en cambio, corresponde a los bronces fosforosos en *piezas moldeadas,* así llamados impropiamente porque en su producción se emplea el fósforo como desoxidante, obteniéndose más homogeneidad de las piezas moldeadas y a la vez mayor dureza y fragilidad.

Los bronces unificados de solo estaño se designan con la letra **B** seguida de un número que indica el porcentaje de estaño y de la sigla UNI con el número de la tabla de unificación correspondiente.

Ejemplo: B 20 UNI 1698: bronce de solo estaño, normal, en panes, con porcentaje de estaño de 20 % (tablas 249 y 250).

B 20 UNI 1701; bronce fosforoso de solo estaño, en piezas moldeadas, con 20 % de estaño.

Bronces al cinc. Son bronces que, además del cobre y del estaño, contienen alguna cantidad de cinc, que da a la aleación mayor fluidez en la colada y por lo tanto las piezas moldeadas resultan más compactas; pueden contener también otros elementos, como plomo, níquel etcétera.

Los tipos unificados, se designan en las mismas tablas antes citadas (**1698,** en panes, **1701,** en piezas fundidas) con la letra **B** seguida del símbolo Zn del cinc y de su porcentaje, de la sigla UNI y del número de la tabla correspondiente.

Ejemplo: B ZN 8 UNI 1698: bronce al cinc en panes, con 8 % de cinc; de la tabla se deduce que contiene el 7 % de estaño y otros elementos (plomo, níquel, antimonio, etc., en pequeñísimas proporciones).

Además de los tipos unificados, se emplean otros varios no unificados, entre los cuales recordamos el *bronce Almirantazgo,* generalmente indicado como bronce 88/10/2, que contiene Sn 9,5 ÷ 10,5 %; Zn 1,5 ÷ 2 %; Ni 1 %; Pb 0,5 %.

Bronces al plomo. La adición de plomo a los bronces normales hace bajar la temperatura de fusión y disminuye el coeficiente de rozamiento, haciéndolo adecuado para metal antifricción en revestimientos de piezas moldeadas sometidas a fuertes presiones y desgaste.

Los bronces al plomo unificados en las tablas 1698 (en panes) y 1701 (en piezas) se designan con la letra **B** seguida del símbolo Pb del plomo, del porcentaje de éste, del símbolo UNI y de la tabla de unificación correspondiente.

Ejemplo: B PB 12 UNI 1698: bronce al plomo en panes, con 12 % de plomo. De la tabla UNI se deduce que contiene el 8 % de Sn y otros elementos correctores, como Ni, Sb, Fe, etcétera.

En la tabla UNI 2527 se indican las características de los semifabricados de bronce, obtenidos por procedimientos plásticos (tabla 251).

Bronces de aluminio. Se conocen con el nombre de bronces de aluminio las aleaciones de cobre *(cupraluminio)* en las que el aluminio se halla en proporciones no superiores al 10 %. También se dividen estos bronces en dos clases: los apropiados para fabricaciones plásticas y los apropiados para moldeo, es decir para fabricar por fusión.

Igualmente se pueden añadir a estas aleaciones otros elementos que aumenten alguna de sus propiedades tecnológicas, mecánicas o fisicoquímicas; en este caso los bronces de aluminio se llaman *especiales.* Los elementos aditivos son el níquel, el hierro, el manganeso, el cobalto, el plomo.

La adición del níquel, que en general aumenta la dureza de las aleaciones y las vuelve más compactas, aumenta la ductilidad de la aleación si está en pequeña cantidad, la disminuye si está en cantidad importante. El hierro afina el grano de la aleación y aumenta su resistencia a la corrosión; el manganeso eleva la carga de rotura y de fluencia, afina el grano y aumenta la dureza. La adición de cobalto le da mayor dureza; el plomo rebaja el punto de fusión y el valor del coeficiente de rozamiento.

Para designar los bronces de aluminio, con solo aluminio, se emplea la letra **G** o la letra **P**, según que el material sea apropiado para *moldear* * o para fabricación *plástica;* siguen los símbolos del cobre y del aluminio **CU, AL,** y a continuación el número que indica el porcentaje de aluminio, finalmente la sigla UNI y el número de la tabla correspondiente.

Para los bronces especiales, después de los símbolos CU AL viene la letra S seguida de I, II, III, etc.

Ejemplo: G CU AL 9 UNI 2511: Bronce de aluminio con 9 % de aluminio.

G CU AL S II UNI 2512: Bronce de aluminio especial.

En las tablas 252 y 253 se han resumido las características unificadas de estos bronces de aluminio.

11. Latones

Se da el nombre de latones a las aleaciones de cobre que tienen como elemento principal aleante el cinc, en proporción no superior generalmente al 45 %. A veces se añaden otros elementos, con objeto de mejorar alguna de las propiedades tecnológicas, fisicoquímicas o mecánicas del latón: se tienen en este caso los *latones especiales.*

Aleando el cobre con el cinc, además de rebajar el coste del material, mejoran generalmente algunas de sus características, como la maleabilidad, la resistencia, la dureza, la fusibilidad.

Las propiedades características de las aleaciones cobre-cinc no se alteran con los tratamientos térmicos de temple. Se tiene buena *maleabilidad* con un pequeño porcentaje de cinc; con porcentajes superiores al 30 % disminuye notablemente la maleabilidad. La *carga de*

* En italiano, *getti. N. del T.*

Bronces en panes para fundir Bronces con solo estaño. Bronces al cinc. Bronces al plomo					
Categoría	Clase Designación de la calidad del bronce	Ensayo de tracción		Ensayo de dureza Brinell Hd 10/500/30 mínimo	Ejemplos de aplicaciones
		Carga de rotura R mínima kg/mm²	Alargamiento A_5 mínimo %		
Bronces con solo estaño	B 20 UNI 1698	16	—	150	Partes expuestas a fuerte rozamiento (por ejemplo, sectores para cojinetes de quicio, aros elásticos para bombas, placas sujetas a frotamiento, patines, etc.).
	B 14 UNI 1698	19	3	85	Piezas sujetas a fuerte rozamiento y desgaste: casquillos y cojinetes (no revestidos) fuertemente cargados, engranajes de deslizamiento y tornillos sin fin, aparatos hidráulicos para grandes presiones.
	B 10 NI 1698	27	15	60	Piezas de máquinas en general (casquillos de engranajes, etc.), válvulas navales; aparatos eléctricos.
Bronces al cinc	B ZN 8 UNI 1698	16	6	70	Accesorios, juntas, etc., que se hayan de pulir.
	B ZN 7 UNI 1698	17	10	60	Piezas designadas B ZN 4 UNI 1698 para válvulas hasta 120° C; partes de bombas y de condensadores y cojinetes poco cargados; camisas de árboles de hélices.
	B ZN 6 UNI 1698	21	12	60	Soportes, cajas de cojinetes, etc.
	B ZN 4 UNI 1698	21	10	65	Construcciones mecánicas y aparatos eléctricos en general; piezas de paredes delgadas y complicadas, por ejemplo, cuerpos de bombas y recipientes sujetos a presión de vapor saturado (hasta 225° C) camisas de árboles, etc.
	B ZN 2 UNI 1698	21	25	50	Bridas para tubos, otras piezas que necesiten soldadura fuerte.
Bronces al plomo	B PB 12 UNI 1698	16	8	60	Cojinetes para grandes presiones superficiales (por ejemplo, laminadores en frío).
	B PB 4 UNI 1698	19	15	70	Cojinetes para laminadores en caliente, máquinas eléctricas.
	BS PB 30 UNI 1698	—	—	40	Revestimientos de antifricción.
	BS PB 20 UNI 1698	15	4	55	Piezas designadas B 14 UNI 1698 y B 10 UNI 1698.
	BS PB 15 UNI 1698	16	5	60	Cojinetes apropiados para grandes cargas y velocidades.
	BS PB 8 UNI 1698	20	6	65	Piezas designadas B 14 UNI 1698 y B 10 UNI 1698.
	BS PB 7 UNI 1698	21	6	80	Cojinetes apropiados para grandes cargas y velocidades.

Bronces en piezas moldeadas unificados

Categoría	Clase Designación de la calidad del bronce	Ensayo de tracción R mín kg/mm²	Ensayo de tracción s mín kg/mm²	Ensayo de tracción A_s mín %	Ensayo de dureza Hd	Ejemplos de aplicaciones
Bronces con solo estaño	B 20 UNI 1701	15	—	—	150	Partes expuestas a fuerte rozamiento (por ejemplo, sectores para cojinetes de quicio, aros elásticos para bombas, placas sujetas a frotamiento, patines, campanas, etc.).
	B 14 UNI 1701	18	13	3	85	Piezas sujetas a fuerte rozamiento y desgaste: casquillos y cojinetes (no revestidos) fuertemente cargados, engranajes de deslizamiento y tornillos sin fin, aparatos hidráulicos para grandes presiones.
	B 10 UNI 1701	25	12	15	60	Piezas de máquinas en general (casquillos de engranajes, etc.), válvulas navales; aparatos eléctricos.
Bronces al cinc	B ZN 8 UNI 1701	15	—	6	70	Accesorios, juntas, etc., que se hayan de pulir.
	B ZN 7 UNI 1701	16	8	10	60	Piezas designadas B ZN 4 UNI 1701 para válvulas hasta 120° C; partes de bombas y de condensadores y cojinetes poco cargados; camisas de árboles de hélices.
	B ZN 6 UNI 1701	20	—	12	60	Soportes, cajas de cojinetes, etc.
	B ZN 4 UNI 1701	20	10	10	65	Construcciones mecánicas y aparatos eléctricos en general; piezas de paredes delgadas y complicadas, por ejemplo, cuerpos de bombas y recipientes sujetos a presión de vapor saturado (hasta 225° C), válvulas, válvulas de compuerta, accesorios para tuberías, etc., para fluidos calientes (hasta 225° C), camisas de árboles, etc.
	B ZN 2 UNI 1701	20	8	25	50	Cojinetes para grandes presiones superficiales (por ejemplo, laminadores en frío).
Bronces al plomo	B PB 12 UNI 1701	15	—	8	60	Bridas para tubos, otras piezas que necesiten soldadura fuerte.
	B PB 4 UNI 1701	18	—	15	70	Cojinetes para laminadores en caliente, máquinas eléctricas.
	BS PB 30 UNI 1701	—	—	—	40	Revestimientos de antifricción.
	BS PB 20 UNI 1701	14	—	4	55	Piezas designadas B 14 UNI 1701 y B 10 UNI 1701.
	BS PB 15 UNI 1701	15	—	5	60	Cojinetes apropiados para grandes cargas y velocidades.
	BS PB 8 UNI 1701	19	—	6	65	Piezas designadas B 14 UNI 1701 y B 10 UNI 1701
	BS PB 7 UNI 1701	20	—	6	80	Cojinetes apropiados para grandes cargas y velocidades.

Tabla 251

Bronces en semifabricados obtenidos por operaciones plásticas (De UNI 2527)

Categoria	Categoria	Clase Designación de la calidad del bronce	Estado de entrega	Perfiles y barras — Tracción R mín kg/mm^2	Perfiles y barras — Tracción A_5 mín %	Perfiles y barras — Dureza Brinell H_d	Chapas y flejes — Tracción R mín kg/mm^2	Chapas y flejes — Tracción A_5 mín %	Chapas y flejes — Dureza Brinell H_d	Tubos — Tracción R mín kg/mm^2	Tubos — Tracción A_5 mín %	Tubos — Dureza Brinell H_d	Alambres — Tracción R mín kg/mm^2	Alambres — Tracción A_5 mín %	Análisis químico — Total de impurezas máximo %	Trabajos en los que el bronce está especialmente indicado para la obtención de semifabricados o para su posterior empleo
Bronces ordinarios	Bronces con solo estaño	B 8 UNI 2527	Recocido	38	45	70 — 95	38	50	70 — 100	38	45	70 — 95	40	45	Zn + Al + Pb + + Fe + Si + otro 0,50 (Zn ≤ 0,05 Al ≤ ≤ 0,05 Pb ≤ 0,05)	Laminado, estirado, extrusión, mecanizado en frío, forjado.
			Prensado	43	45	80 — 120	—	—	—	43	45	80 — 120	—	—		
			Semiduro	48	25	130 — 140	45	30	100 — 140	—	—	—	55	30		
			Duro	55	12	140 — 175	55	12	140 — 175	50	11	130 — 160	65	3		
		B 7 UNI 2527	Recocido	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	60	0,50	Laminado, estirado.
			Semiduro	—	—	—	50	23	140	—	—	—	—	—		
			Duro	60	9	160	60	8	165	—	—	—	65	3		
			Durísimo	—	—	—	75	3	200	—	—	—	85	1		
		B 6 UNI 2527	Recocido	36	45	70 — 95	38	45	75 — 110	—	—	—	38	45	Fe + Ni + Al + otro 0,50	Laminado, extrusión, estirado, mecanizado en frío, forjado.
			Semiduro	45	18	125 — 155	48	16	130 — 160	—	—	—	50	22		
			Duro	58	9	155 — 220	60	8	160 — 220	—	—	—	65	3		
			Durísimo	—	—	—	75	2	190 — 240	—	—	—	80	1		
		B 2 UNI 2527	Recocido	27	41	45 — 65	27	41	45 — 65	27	41	45 — 65	32	32	Fe + Ni + Al + otro 0,50	Laminado, estirado, extrusión, mecanizado en frío.
			Prensado	24	40	40 — 60	—	—	—	—	—	—	—	—		
			Semiduro	34	11	90 — 120	40	7	100 — 130	35	11	90 — 115	65	1		
			Duro	48	5	125 — 155	—	—	—	—	—	—	90	1		
		B 0,2 UNI 2527	Recocido	—	—	—	22	40	42 — 57	22	40	42 — 57	—	—	0,20	Laminado, estirado, extrusión.
			Semiduro	—	—	—	26	14	70 — 82	26	14	70 — 82	—	—		
			Duro	—	—	—	30	3,5	84 — 100	30	3,5	84 — 100	—	—		
Bronces especiales	Bronces al cadmio	BS CD 0,6/I UNI 2527	Duro	—	—	—	—	—	—	—	—	—	70	≤ 1,5	0,30	Estirado.
		BS CD 0,6/II UNI 2527	Duro	—	—	—	—	—	—	—	—	—	57	—	0,30	
	Bronces al cinc	BS ZN 1 UNI 2527	Recocido	—	—	—	30	46	65 — 80	—	—	—	—	—	Fe + P + otro 0,50 P ≤ 0,15	Laminado.
			Semiduro				50	6	125 ÷ 155	—	—	—	—	—		
		BS ZN 0,5 UNI 2527	Duro	—	—	—	—	—	—	—	—	—	75	≤ 0,5	1,00	Estirado en frío.

Tabla 252

Bronces al aluminio para moldeo (De UNI 2511)				
Designación de la calidad del cupraluminio	Ensayo de tracción		Ensayo de dureza Brinell Hd 10/1000/30 mínimo (véase n.° 10)	Ejemplos de aplicaciones
	Carga unitaria de rotura R mínima kg/mm²	Alargamiento A_5 mínimo %		
G CU AL 9 UNI 2511	35	12	80	Piezas moldeadas para la industria química, soportes, válvulas, manguitos para soportes cojinetes.
G CU AL S I UNI 2511	40	20	100	Engranajes, ruedas helicoidales, válvulas para vapor, cojinetes, soportes, manguitos para soportes, cojinetes.
G CU AL S II UNI 2511	45	10	130	Piezas que hayan de resistir al frotamiento, patines, ruedas helicoidales.
G CU AL S III UNI 2511	60	5	150	

Tabla 253

Bronces de aluminio para trabajos plásticos (Da UNI 2512)						
Designación de la calidad del cupraluminio	Ensayo de tracción		Ensayo de dureza Brinell Hd 10/1000/30	Peso específico kg/dm³	Estado de entrega	Ejemplos de aplicación
	Carga unitaria de rotura R mínima kg/mm²	Alargamiento A_5 mínimo %				
P CU AL 4 UNI 2512	30 36 42 100	50 15 8 0,5	60 100 130 —	8,4	Recocido Semiduro Duro Durísimo	Barras, chapas, tubos y alambres especialmente para industrias químicas, alambres para zunchos de motores eléctricos.
P CU AL 5 UNI 2513	35 42 50	30 15 8	70 110 150	8,2	Recocido Semiduro Duro	Barras, chapas, tubos, alambres para resortes, flejes y resortes para portaescobillas empleados en electrotecnia.
P CU AL 9 UNI 2512	40 50 60 85	30 10 5 1	80 130 160 200	7,7	Recocido Semiduro Duro Durísimo	Barras, chapas, flejes, tubos, alambres, piezas estampadas y forjadas, asientos de válvulas para motores de combustión, barras torneadas, resortes (en estado durísimo).
P CU AL S I UNI 2512	45	30	80	7,2 a 8,5	Tratado térmicamente	Barras de extrusión o forjadas en caliente, perfiles, tubos, piezas forjadas o estampadas, guías de válvulas para motores de combustión, asientos de válvulas, vástagos de émbolos, tornillos sin fin, coronas dentadas, ruedas helicoidales, aros elásticos.
P CU AL S II UNI 2512	55	12	100			
P CU AL S III UNI 2512	65	8	160			
P CU AL S IV UNI 2512	75	5	200			

rotura aumenta con el porcentaje de Zn, hasta el 45 % de éste: a este porcentaje la carga R es aproximadamente el doble de la del cobre. El color de la aleación es rojo de cobre para pequeñas proporciones de Zn (hasta el 10 %); luego tiende al amarillo de oro (Zn del 10 al 20 %). Estas últimas aleaciones (llamadas similor, tumbaga, etc.), empleadas en joyería falsa, para objetos de sobremesa, etc., admiten un hermoso pulimento; se pueden trabajar en frío, pero se endurecen y deben por lo mismo someterse a un recocido al trabajarlas.

Con porcentajes del 35 al 45 % de Zn, se pueden trabajar los latones en caliente y se utilizan para piezas mecánicas.

El latón se puede trabajar bien por fusión, poseyendo buena fluidez y dando piezas moldeadas sanas; sin embargo, su fusión requiere precauciones para evitar la merma del Zn que tiende a volatilizarse.

Para los latones, igual que para el bronce, se puede emplear el fósforo como desoxidante, obteniéndose los latones impropiamente llamados *fosforosos*.

Los elementos aditivos principales para los latones especiales son el hierro, el níquel, el manganeso, el plomo; las aleaciones que se obtienen tienen muchas veces nombres especiales; por ejemplo: *metal Aich* es un latón al hierro con (aproximadamente) Cu 60 %; Zn 38 %; Fe 2 %.

El *metal Delta* (composición media: Cu 55 %; Zn 41 %; Fe + Mn 2 %; Pb 2 %) se puede forjar en caliente, laminar en caliente y en frío, soldar al soplete. Tiene elevadas características mecánicas y se puede trabajar por fusión dando piezas sanas. Forjado da una carga de rotura a tracción máxima de 70 kg/mm²; en lingotes llega a 50 kg/mm²; resiste a la corrosión del agua de mar y se emplea para hélices de barcos. Se fabrica también en laminados, perfiles y tubos.

Los *latones al níquel* constituyen una clase importante de materiales, que en el comercio reciben nombres diversos (packfong, alpaca, etc.). El níquel aumenta la resistencia a la corrosión y decolora los latones.

El argentán es otra aleación empleada en electrotecnia para resistencias patrón.

De los latones se ha unificado una serie bastante extensa, que comprende:

Latones ordinarios y especiales para moldeo **(UNI 1694-1696)**.

Latones ordinarios y especiales para fabricación plástica (barras, laminados, estirados) **(UNI 2012)**.

La designación de los latones ordinarios se efectúa con la sigla **OT** seguida de un número que indica el porcentaje medio del cobre, de la sigla **UNI** y del número de la tabla correspondiente.

Ejemplo: **OT 63 UNI 1694** = latón ordinario con el 63 % de cobre, para moldeo.

OT 67 UNI 2012 = latón ordinario con el 67 % de cobre, para fabricación plástica.

La designación de los latones especiales se compone de la sigla **OTS**, seguida del porcentaje medio de Cu o bien de un número **1, 2, 3,** que corresponde a la composición especial de una de las calidades unificadas.

Ejemplo: **OTS 1 UNI 1694** = latón especial para moldeo, correspondiente a la calidad indicada con la misma sigla en la tabla 1694.

OTS 1 UNI 2012 = ídem, para fabricación plástica.

OTS 68 UNI 2012 = latón para fabricación plástica con porcentaje de cobre del 68 %.

En las tablas 254, 255, 256 se han reunido algunos datos unificados y ejemplos de aplicaciones de los latones unificados.

12 Cuproaleaciones especiales

En cuanto a las aleaciones de cobre especiales, diremos que están unificadas en la tabla UNI 2528, de la que se da un extracto en la tabla 257.

Tabla 254

Latones en panes para fundiciones

(De UNI 1694-1695)

Designación de la calidad del latón	Ensayo de tracción		Ensayo de dureza Brinell * Hd 10/500/30 mínimo	Ejemplos de aplicaciones
	Carga de rotura R mínima kg/mm²	Alargamiento A_5 mínimo %		
OT 63 UNI 1694	**17**	**8**	**45**	Piezas sujetas a esfuerzos mecánicos moderados (grifería, cajas de engranajes, soportes, juntas, etcétera).
OT 67 UNI 1694	**20**	**23**	**40**	
OTS UNI 1694	**33**	**23**	**75**	Piezas sujetas a esfuerzos medianos (juntas, tuercas para manguitos, casquillos de poca importancia, etc.).
OTS1 * UNI 1694	**39**	**29**	**85**	Piezas sujetas a grandes esfuerzos mecánicos (álabes y árboles de bombas helicoidales y centrífugas, válvulas navales, hélices navales, piezas resistentes a la corrosión del agua del mar, etc.); partes de piezas de artillería que necesiten elevada resistencia, aun a los choques.
OTS2 * UNI 1694	**50**	**25**	**110**	
OTS3 * UNI 1694	**60**	**18**	**140**	

Tabla 255

Piezas fundidas de latón

(De UNI 1696-1697)

Designación de la calidad del latón	Ensayo de tracción			Ensayo de dureza Brinell Hd 10/500/30 mínimo	Ejemplos de aplicaciones
	Carga de rotura R mínima kg/mm²	Carga de fluencia s_{min} kg/mm²	Alargamiento A_5 mínimo %		
OT 63 UNI 1696	**15**	**—**	**7**	**45**	Piezas sujetas a esfuerzos mecánicos moderados (grifería, cajas de engranajes, soportes, juntas, etcétera).
OT 67 UNI 1696	**18**	**—**	**20**	**40**	
OTS UNI 1696	**30**	**12**	**20**	**65**	Piezas sujetas a esfuerzos medianos (juntas, tuercas para manguitos, casquillos de poca importancia, etc.).
OTS1 UNI 1696	**35**	**15**	**25**	**75**	Piezas sujetas a grandes esfuerzos mecánicos (álabes y árboles de bombas helicoidales y centrífugas, válvulas navales, hélices navales, piezas resistentes a la corrosión del agua del mar, etc.); partes de piezas de artillería que necesiten elevada resistencia, aun a los choques.
OTS2 UNI 1696	**45**	**18**	**22**	**95**	
OTS3 UNI 1696	**55**	**22**	**16**	**120**	

Latones en semifabricados obtenidos por operaciones plásticas

Latones ordinarios

(De la tabla 2012)

Designación de la calidad del latón	Estado de entrega	Perfiles y barras – Ensayo de tracción R min kg/mm²	Perfiles y barras – Ensayo de tracción A_5 min %	Perfiles y barras – Ensayo de dureza Brinell Hd min	Chapas y flejes – Ensayo de tracción R min kg/mm²	Chapas y flejes – Ensayo de tracción A_5 min %	Chapas y flejes – Ensayo de dureza Brinell Hd min	Tubos – Ensayo de tracción R min kg/mm²	Tubos – Ensayo de tracción A_5 min %	Tubos – Ensayo de dureza Brinell Hd min	Alambres – Ensayo de tracción R min kg/mm²	Alambres – Ensayo de tracción A_5 min %	Trabajos en los que el latón está especialmente indicado para la obtención de semifabricados o para su posterior empleo	Ejemplos de aplicaciones
OT 58 UNI 2012	Recocido	36	25	80	36	25	80	—	—	—	37	20	Extrusión, forjado, mecanizados con máquinas herramientas.	Barras para tornillería en general, piezas para tornear, piezas estampadas en caliente, chapas para relojería.
	Semiduro	42	12	100	42	12	100	—	—	—	44	5		
	Duro	53	4	140	53	4	140	—	—	—	55	0,5		
OT 60 UNI 2012	Recocido	35	38	70	35	38	70	35	38	70	36	24	Extrusión, forjado, mecanizados en máquinas herramientas, acuñación, plegadura moderado.	Barras, chapas, tubos, alambres para aplicaciones varias, especialmente para construcciones navales, placas, tuberías, tornillos para madera.
	Semiduro	41	25	90	41	25	90	41	23	90	42	7		
	Duro	50	4	125	50	4	130	50	4	130	52	0,5		
OT 63 UNI 2012	Recocido	28	50	55	29	50	55	28	50	55	29	29	Extrusión, laminado, estirado, embutido.	Perfiles y barras, chapas y flejes, tubos, alambres para construcciones varias de aparatos, y para fabricación de bisutería metálica.
	Semiduro	38	25	80	38	25	80	38	25	80	40	8		
	Duro	46	7	105	46	7	105	46	7	105	48	1		
OT 65 UNI 2012	Recocido	28	50	53	28	50	53	—	—	—	—	—	Laminado, estirado, embutido, cizallamiento.	Vainas para cartuchos.
	Semiduro	36	25	75	36	25	80	—	—	—	—	—		
	Duro	44	7	95	44	7	100	—	—	—	—	—		
OT 67 UNI 2012	Recocido	28	53	50	28	53	50	28	53	50	29	32	Extrusión, laminado, estirado, embutido, mecanizado en frio, soldadura fuerte.	Igual que para la calidad OT 63 UNI 2012 especialmente chapas para embutido profundo, casquillos, tubos, resortes (en estado crudo).
	Semiduro	35	26	75	36	26	75	36	26	75	38	9		
	Duro	42	9	95	42	9	100	42	9	100	44	1		
OT 72 UNI 2012	Recocido	28	55	50	28	55	50	28	55	50	29	32		Igual que para la calidad OT 67 UNI 2012 especialmente vainas de obuses, tubos, álabes para turbinas de vapor, tubos delgados para radiadores.
	Semiduro	36	28	75	36	28	75	36	28	75	37	10		
	Duro	42	9	95	42	9	100	42	9	100	44	1		
OT 80 UNI 2012	Recocido	26	46	50	26	46	50	26	46	50	27	20	Mecanizado en frío.	Chapas, hojas, bisutería metálica, joyas falsas, piezas para esmaltar superficialmente, placas para embutir, tubos.
	Semiduro	30	15	70	30	15	70	30	14	70	31	4		
	Duro	40	7	95	40	7	95	40	6	95	41	1		
OT 85 UNI 2012	Recocido	26	46	50	26	46	50	26	46	50	27	22		
	Semiduro	30	15	70	30	15	70	30	14	70	31	5		
	Duro	40	7	95	40	7	95	40	6	95	40	1		
OT 90 UNI 2012	Recocido	24	45	50	24	45	50	24	45	50	25	24	Plaqueado sobre acero, mecanizado en frío.	
	Semiduro	30	12	70	30	12	70	30	10	70	31	5		
	Duro	38	6	90	38	6	90	38	5	90	38	1		

Latones especiales

Designación de la calidad del latón	Estado de entrega	Perfiles y barras – Ensayo de tracción R min kg/mm²	Perfiles y barras – Ensayo de tracción A_5 min %	Perfiles y barras – Ensayo de dureza Brinell Hd min	Chapas y flejes – Ensayo de tracción R min kg/mm²	Chapas y flejes – Ensayo de tracción A_5 min %	Chapas y flejes – Ensayo de dureza Brinell Hd min	Tubos – Ensayo de tracción R min kg/mm²	Tubos – Ensayo de tracción A_5 min %	Tubos – Ensayo de dureza Brinell Hd min	Alambres – Ensayo de tracción R min kg/mm²	Alambres – Ensayo de tracción A_5 min %	Trabajos en los que el latón está especialmente indicado para la obtención de semifabricados o para su posterior empleo	Ejemplos de aplicaciones
OTS 58 UNI 2012	Recocido	35	35	70	35	35	70	35	33	70	37	25	Laminado, estirado, forjado en caliente, mecanizado en frío.	Barras, chapas, tubos, alambres para aplicaciones varias, especialmente para construcciones navales.
	Semiduro	48	22	90	48	22	90	48	20	90	49	8		
	Duro	56	10	130	56	10	130	56	10	130	58	1,5		
OTS 65 UNI 2012	Recocido extruido	55	30	145	—	—	—	55	30	145	55	30		Piezas sujetas a grandes esfuerzos y a fuerte corrosión.
	Semiduro	62	18	180	—	—	—	62	18	180	62	18		
	Duro	70	2	225	—	—	—	70	2	225	70	2		
	Durísimo	80	1	245	—	—	—	80	1	245	80	1		
OTS 68 UNI 2012	Recocido extruido	37	22	80	—	—	—	37	22	80	37	22	Laminado, estirado, extrusión, mecanizado en frío.	
	Semiduro	43	8	120	—	—	—	43	8	120	43	8		
	Duro	50	4	140	—	—	—	50	4	140	50	4		
OTS 70 UNI 2012	Recocido	—	—	—	29	50	58	29	50	58	—	—		Chapas para pequeñas placas de condenasadores, tubos para condensadores.
	Semiduro	—	—	—	40	22	90	42	18	90	—	—		
	Duro	—	—	—	48	6	125	48	6	130	—	—		
OTS 76 UNI 2012	Recocido	—	—	—	—	—	—	38	48	70	—	—	Estirado, mecanizado en frío.	Tubos para condensadores.
	Semiduro	—	—	—	—	—	—	48	17	100	—	—		
	Duro	—	—	—	—	—	—	55	5	140	—	—		
OTS 1 UNI 2012	Recocido	35	40	70	35	40	70	35	40	70	38	38	Laminado, estirado, extrusión, forjado én caliente, mecanizado en frío.	Perfiles y barras, chapas, tubos, piezas forjadas y estampadas de gran resistencia, álabes para turbinas de vapor, tornillería, remaches, piezas resistentes a la corrosión.
	Semiduro	42	30	90	42	30	90	42	30	90	52	12		
	Duro	50	20	110	50	20	110	50	20	110	65	4		
OTS 2 UNI 2012	Recocido	38	30	70	—	—	—	38	30	70	—	—		
	Semiduro	50	25	100	—	—	—	50	25	100	—	—		
	Duro	56	12	125	56	12	125	56	12	125	—	—		
OTS 3 UNI 2012	Recocido	58	15	115	—	—	—	—	—	—	—	—		
	Semiduro	65	10	140	—	—	—	—	—	—	—	—		
	Duro	80	8	200	—	—	—	—	—	—	—	—		

Aleaciones especiales de cobre en semifabricados obtenidos por operaciones plásticas

(De UNI 2528)

Clase	Designación de la calidad de la aleación	Estado de entrega	Perfiles y barras — Tracción — R mín kg/mm²	Perfiles y barras — Tracción — A_5 mín %	Perfiles y barras — Dureza — Brinell Hd	Chapas, flejes, tubos — Tracción — R mín kg/mm²	Chapas, flejes, tubos — Tracción — A_5 mín %	Chapas, flejes, tubos — Dureza — Brinell Hd	Alambres — Tracción — R mín kg/mm²	Alambres — Tracción — A %	Análisis químico — Total de impureza máxima	Trabajos para los que la aleación es más apropiada (semifabricados y empleos posteriores)
Cobre al manganeso	CU MN 3,5 UNI 2528	Recocido	28	40	55 — 75	28	40	55 — 75	34	≥ 42	Si + Fe + Al + Ni + Cd + otro **0,50** (Al ≦ 0,15 Ni ≦ 0,08 Cd ≧ 5,05)	Laminado, extrusión, estirado.
		Especial normalizado	30	18	65 — 100	—	—	—	—	—		
		Semiduro	34	8	80 — 100	34	8	80 — 100	40	≥ 13		
		Duro	40	3,5	110 — 135	40	3,5	110 — 135	48	≥ 3		
Cobre al silicio manganeso	CU SI 3 MN 1 UNI 2528	Recocido	35	45	55 — 75	35	45	55 — 75	—	—	Al + Fe + otro **0,50** (Al ≦ 0,05 Fe ≦ 0,20)	Laminado, estirado, mecanizado en frío.
		Semiduro	44	23	100 — 125	44	23	100 — 125	—	—		
		Duro	52	11	125 — 155	52	11	125 — 155	—	—		
Cuproníquel	CU NI 2 SI 1 UNI 2528	Semiduro	50	6	—	—	—	—	—	—	Mn + otro **0,50**	Laminado, extrusión, estirado.
Cobre al hierro	CU FE 6 AL 1 UNI 2528	Semiduro	45	25	—	—	—	—	—	—	Mn + Ni + otro **0,50**	
Cobre al cadmio	CU CD 0,5 UNI 2528	Duro	—	—	—	—	—	—	50	0,5 — 0,4	**0,30**	
	CU CD 1 UNI 2528	Duro	—	—	—	—	—	—	54	0,5 — 3,5	**0,30**	Laminado, estirado, mecanizado en frío.
Cobre al cadmio y estaño	CU CD 1 SN 0,4 UNI 2528	Duro	—	—	—	—	—	—	65	0,5 — 0,4	**0,30**	

Capítulo III

ALUMINIO Y SUS ALEACIONES

13. Generalidades

Es el aluminio, material conocidísimo, caracterizado por su color blanco de plata, su ligereza, la facilidad con que se trabaja y su buena conductibilidad del calor y de la electricidad. Por esta última cualidad se emplea con mucha frecuencia en lugar del cobre en la construcción de rotores de pequeños motores eléctricos trifásicos y como conductores en líneas eléctricas.

El aluminio, como metal, está unificado en *lingotes de fundición*, de segunda fusión, como sigue, en la tabla **UNI 820:**

ALS 99,5 UNI 820 con el 99,5 % y más de aluminio puro.

ALS 99 UNI 820 con el 99 % y más de aluminio puro.

ALS 98 UNI 820 con el 98 % y más de aluminio puro.

Están además unificados los aluminios primarios, para fabricaciones plásticas **ALP 99,5** y **ALP 99** en las tablas **UNI 3566** y **3567**.

Los datos que interesan al dibujante están contenidos en la tabla 258, en la cual, para lo referente al estado de suministro, se han empleado los símbolos expuestos en el párrafo siguiente.

Pero más que como metal puro, tiene el aluminio una importancia enorme por sus aleaciones, de las que se tratará brevemente.

14. Aleaciones de aluminio

Aleaciones de aluminio para fundición

Aleaciones de aluminio para moldeo. Según las normas contenidas en la tabla UNI 3039, se da el nombre de aleación ligera de aluminio a las aleaciones, generalmente complejas, que tienen como elemento constituyente fundamental el aluminio y cuyo peso específico no pasa de 3 kg/dm³. Se dividen en:

a) *Aleaciones en estado de lingotes,* destinados a ser fundidos de nuevo para la producción de piezas moldeadas. Se obtienen de aluminio de primera fusión (UNI 3020) o de aluminio especial (UNI 3021), con adición de aleaciones madres (UNI 3022) o de elementos metálicos convenientemente fundidos.

Queda excluida la adición de trozos, recortes, desperdicios que no procedan de la misma operación interior. Estas aleaciones se distinguen con la sigla G.

b) *Aleaciones en estado de piezas moldeadas,* obtenidas de la segunda fusión de aleaciones en estado de lingotes, con exclusión de desperdicios o escorias que no procedan de la misma operación interna. Se dividen en las tres clases siguientes, según el método seguido en su producción:

Aleaciones en forma de piezas moldeadas en arena, es decir, solidificadas en forma no permanente; se designan con G_s.

Aleaciones en forma de piezas moldeadas en coquilla, es decir, solidificadas en forma permanente; se designan con G_c.

Aleaciones en forma de piezas moldeadas a presión, o sea solidificadas en forma permanente, bajo una presión exterior (fusión por inyección, fusión por presión); se designan con G_p.

Los diferentes tipos de aleaciones primarias de aluminio para moldeo se distinguen por el elemento aleado preponderante, que caracteriza sus propiedades y por lo tanto el campo normal de aplicación de la aleación.

La designación convencional de los diferentes tipos de aleaciones se efectúa del modo siguiente, escribiendo consecutivamente:

a) La sigla correspondiente al sistema de obtención de la pieza moldeada (según se acaba de explicar), es decir: G; G_s; G_c; G_p, seguida de un guión.

b) El símbolo químico del aluminio (en letras mayúsculas) AL.

c) El símbolo químico del elemento preponderante aleado al aluminio.

d) El porcentaje de este último elemento.

e) La sigla UNI y el número de la tabla en que la aleación está unificada.

Ejemplo: **G-AL CU 12 UNI 3040** significa aleación ligera de aluminio para moldear, en lingotes, con el 12 % de cobre, unificada en la tabla **UNI 3040.**

En los casos en que tal vez no sea suficiente para identificar una aleación solamente el porcentaje del elemento aleado preponderante, se añaden uno o más símbolos de los otros elementos característicos de la aleación.

Ejemplo: **G-AL CU 10 NI SI MG UNI 3042,** significa aleación de aluminio para moldear, con el 10 % de cobre y además con níquel, silicio y magnesio.

Esta designación normal se abrevia para marcar los lingotes, para las indicaciones telegráficas, etc., simplificando los símbolos químicos de los elementos de la aleación, en la forma convencional que indica la tabla 259.

Ejemplo: La aleación G-AL CU 10 NI SI MG UNI 3042 se puede designar G-AC 10 NSG.

Los estudios de suministro de las principales aleaciones de aluminio en lingotes, en lo referente al sistema de colada y a los tratamientos térmicos a que se someten las piezas, se indican con los símbolos indicados en la tabla 260.

Para completar estos símbolos, al correspondiente al estado de suministro ha de seguir un grupo de cifras en forma de quebrado, cuyo numerador indica la temperatura del tratamiento térmico, expresada en *decenas* de grados (° C): el denominador indica la duración *en horas* del tratamiento.

Características del aluminio para trabajos plásticos

(De las tablas UNI 3566 y 3567)

	Estado de entrega: Denominación	Estado de entrega: Símbolo	Espesor mm diámetro sección mm^2	R Kg/mm^2 ALP 99,5	R Kg/mm^2 ALP 99,0	S Kg/mm^2 ALP 99,5	S Kg/mm^2 ALP 99,0	A_5 % ALP 99,5	A_5 % ALP 99,0	H_d Kg/mm^2 ALP 99,5	H_d Kg/mm^2 ALP 99,0
Laminados (chapas, flejes, tiras)	Recocido	R	**Espesor** todos (mm)	7 ÷ 9	7 ÷ 10	2 ÷ 4	2,5 ÷ 5	35 ÷ 55	30 ÷ 50	18 ÷ 25	20 ÷ 27
	Endurecido 15	H 15	0,8 ÷ 8 mm	7 ÷ 10	8 ÷ 11	5 ÷ 9	6 ÷ 9	18 ÷ 25	15 ÷ 25	21 ÷ 28	23 ÷ 30
	Endurecido 30	H 30	0,8 ÷ 8 mm	9 ÷ 13	10 ÷ 14	7 ÷ 9	8 ÷ 13	10 ÷ 20	9 ÷ 18	28 ÷ 35	30 ÷ 40
	Endurecido 50	H 50	0,8 ÷ 8 mm	11 ÷ 14	12 ÷ 15	10 ÷ 13	11 ÷ 14	7 ÷ 12	6 ÷ 11	30 ÷ 38	32 ÷ 42
	Endurecido 70	H 70	0,8 ÷ 4 mm	13 ÷ 18	14 ÷ 20	12 ÷ 16	13 ÷ 17	4 ÷ 9	4 ÷ 8	35 ÷ 45	40 ÷ 50
De extrusión	Bruto de extrusión	Hp	**Sección** 12000 mm^2	7 ÷ 10	7 ÷ 11	3 ÷ 7	3,5 ÷ 7	20 ÷ 40	18 ÷ 35	18 ÷ 28	20 ÷ 30
	Recocido	R	12000 mm^2	6 ÷ 9	7 ÷ 10	2 ÷ 4,5	2,5 ÷ 5	35 ÷ 55	30 ÷ 50	18 ÷ 25	20 ÷ 27
Estirados — Tubos de diámetro exterior de 12 a 150 mm	Recocido	R	**Espesor** todos	7 ÷ 9	7 ÷ 10	2,5 ÷ 4	2,5 ÷ 5	35 ÷ 55	35 ÷ 50	18 ÷ 25	20 ÷ 27
	Endurecido 30	H 30	mm de 0,5 a < 1,2 de 1,2 a < 5 de 5 a 9	9 ÷ 13	7 ÷ 12	7 ÷ 12	8 ÷ 13	9 ÷ 20 10 ÷ 20 11 ÷ 20	7 ÷ 18 8 ÷ 18 9 ÷ 18	28 ÷ 35	30 ÷ 40
	Endurecido 70	H 70	de 0,5 a < 1,2 de 1,2 a 4	13 ÷ 18	12 ÷ 16	12 ÷ 16	13 ÷ 17	3 ÷ 9 4 ÷ 9	3 ÷ 8 4 ÷ 8	35 ÷ 45	40 ÷ 50
Estirados — Alambres								sobre 200 mm			
	Recocido	R	**Diámetro** todos	7 ÷ 9	7 ÷ 10	2 ÷ 4	2,5 ÷ 5	20 ÷ 30	18 ÷ 30	—	—
	Endurecido 30	H 30	de 0,7 a < 3 de 3 a 8	11 ÷ 13 10 ÷ 12	11 ÷ 13 10 ÷ 12	10 ÷ 12 9 ÷ 11	10 ÷ 12 9 ÷ 11	4 ÷ 7 4 ÷ 7	3,5 ÷ 7 3,5 ÷ 7	— —	— —
	Endurecido 70	H 70	de 0,7 a < 3 de 3 a 8	17 ÷ 19 16 ÷ 18	18 ÷ 20 17 ÷ 19	16 ÷ 18 15 ÷ 17	17 ÷ 19 16 ÷ 18	1 ÷ 2,5 1,5 ÷ 2,5	1 ÷ 2 1,5 ÷ 2	— —	— —

Tabla 259

Símbolos convencionales unificados para la designacion de los elementos en las aleaciones de aluminio								
Elemento	Símbolo químico	Símbolo convencional	Elemento	Símbolo químico	Símbolo convencional	Elemento	Símbolo químico	Símbolo convencional
Aluminio	Al	A	Magnesio	Mg	G	Estaño	Sn	E
Antimonio	Sb	B	Manganeso	Mn	M	Titanio	Ti	T
Berilio	Be	L	Níquel	Ni	N	Vanadio	V	V
Cobalto	Co	K	Plomo	Pb	P	Cinc	Zn	Z
Cromo	Cr	R	Cobre	Cu	C	—	—	—
Hierro	Fe	F	Silicio	Si	S	—	—	—

Tabla 260

Símbolos del estado de entrega de las aleaciones de aluminio para moldeo		
Estado de entrega		
Símbolo		Significado del símbolo
del sistema de moldeo	del tratamiento térmico	
G	—	Moldeo general, en estado bruto.
Gs	—	Moldeo en arena, en estado bruto.
Gc	—	Moldeo en coquilla, en estado bruto.
Gp	—	Moldeo a presión, en estado bruto.
—	T	Temple en solución, enfriamiento en agua (10 ÷ 30° C).
—	Ts	Temple en solución dependiente del enfriamiento en el molde arena.
—	Tc	Ídem en el molde de metal (efecto de coquilla)
—	Tb	Ídem con enfriamiento en agua caliente o hirviente (60 ÷ 100° C).
—	To	Ídem en aceite.
—	Ta	Ídem en corriente de aire.
—	N	Envejecimiento natural, después del temple cualquiera en solución.
—	A	Envejecimiento artificial a temperatura > 50° C, después de cualquier temple en solución.
—	S	Estabilización dimensional.
—	R	Recocido.
—	B	Bonificado, o sea temple en solución seguido de envejecimiento natural o artificial.

Ejemplos de los símbolos del estado de suministro:

T 53/4 — Temple a 530° C, después de un calentamiento previo de 4 horas; enfriamiento en agua (10 ÷ 30 °C).

T 53/4 A 16/12 — Temple como el caso anterior, pero seguido de un envejecimiento artificial a 160° C durante 12 horas.

T_c S 23/4 — Temple por la acción de la coquilla, estabilizado a 230° C durante 4 horas.

T 50/4 N — Temple a 500° C, después de un calentamiento previo durante 4 horas, uniforme y enfriamiento en agua a 10 ÷ 30° C, seguido de envejecimiento natural.

R 35/6 — Recocido a 350° C, durante 6 horas a régimen.

En las tablas 261 y 262 se transcriben los datos principales de las aleaciones de aluminio para moldeo.

Aleaciones ligeras primarias de aluminio para trabajo plástico

Según las normas UNI (tabla 3565) las aleaciones de aluminio para trabajo plástico se dividen en:

a) *Aleaciones en estado bruto* (panes, lingotes, placas y formatos especiales).

b) *Aleaciones en estado semifabricado* (laminados de extrusión, forjados, estampados, estirados, etcétera).

Las aleaciones en estado bruto se obtienen de aluminio de primera fusión (UNI 3020) o de aluminios especiales (UNI 3021), añadiendo aleaciones madres (UNI 3022) o elementos metálicos aleantes suficientemente puros, excluyéndose los trozos, recortes y desperdicios que no procedan del propio trabajo interno; y se destinan a transformaciones plásticas en frío o en caliente, para obtener semifabricados. Se designan con la sigla **P** (plástica).

Las aleaciones ligeras primarias en estado semifabricado pueden dividirse en las siguientes clases:

a) Aleaciones en forma de laminados, designados con la sigla $\mathbf{P}_l$.

b) Aleaciones en forma de piezas de extrusión, designadas con la sigla $\mathbf{P}_e$.

c) Aleaciones en forma de piezas forjadas (en estampa abierta), designadas con la sigla $\mathbf{P}_f$.

d) Aleaciones en forma de piezas estampadas (en troquel cerrado), designadas con la sigla $\mathbf{P}_s$.

e) Aleaciones en forma de estirados, indicados con la sigla $\mathbf{P}_t$.

Las indicaciones convencionales de los diferentes tipos de aleaciones se efectúan poniendo detrás de la sigla antes indicada un guión seguido del símbolo del aluminio, y a continuación el símbolo del elemento que caracteriza el tipo de la aleación y el porcentaje del mismo. En los casos en que este porcentaje único no sea suficiente para identificar el tipo de aleación, se especifica la aleación poniendo a continuación de dicho porcentaje los símbolos de los elementos característicos de la aleación. Se termina con la sigla UNI y el número de la tabla de unificación.

Ejemplo: **$\mathbf{P}_e$-AL CU 4 MG MN UNI 3579.**

Igual que para las aleaciones para moldeo, se pueden usar siglas abreviadas para facilitar el marcado, la designación telegráfica, etc., empleando los mismos símbolos convencionales abreviados antes indicados.

El estado de suministro de los semifabricados se indica, según el modo de obtenerlos, mediante las siglas **P**; $\mathbf{P}_l$; $\mathbf{P}_e$; $\mathbf{P}_f$; $\mathbf{P}_s$; $\mathbf{P}_t$, antes indicadas. Sigue a continuación el símbolo del tratamiento térmico, igual al anteriormente expuesto; el símbolo O significa: *sin tratamiento*. Valen las mismas convenciones antes expuestas para los lingotes.

Ejemplo: T 50/4 A 16/12 significa temple a 500° C, con calentamiento previo de 4 horas a régimen y enfriamiento en agua (10 ÷ 30° C), seguido de envejecimiento artificial a 160° C durante 12 horas.

Se puede aun añadir una indicación del grado de endurecimiento resultante de una eventual fabricación plástica en frío. Esta indicación consiste en la letra H seguida de dos cifras que indica el porcentaje de endurecimiento.

Por ejemplo, H 08 significa: endurecimiento del 8 por ciento.

Convencionalmente, el endurecimiento se determina del siguiente modo. Llamando **A** al área de la sección inicial en estado recocido (endurecimiento nulo) y **a** al área de la sección final resultante de la fabricación plástica en frío, el grado de endurecimiento en % $\mathbf{H}_i$ se obtiene por:

$$\mathbf{H}_i = 100\,\frac{\mathbf{A} - \mathbf{a}}{\mathbf{A}}\ \%$$

Especialmente, si $\mathbf{S}_0$ y $\mathbf{S}_n$ son los espesores inicial y final de un laminado en frío (lámina, cinta, faja, etc.), cuya anchura permanece constante, se tiene evidentemente

$$\mathbf{H}_i = 100\,\frac{\mathbf{S}_0 - \mathbf{S}_n}{\mathbf{S}_0}\ \%$$

Los principales datos correspondientes a las aleaciones de aluminio para fabricaciones plásticas se han reunido en las dos grandes tablas 263 y 264.

Aleaciones ultraligeras

Se conocen con este nombre las aleaciones a base de magnesio, cuyo peso específico no es superior a 2 kg/dm³. Se trata de aleaciones que hasta ahora no se han unificado, pero que lo estarán muy pronto; se conocen en el comercio con los nombres de *Elektron* o *Atesia* y tienen como elementos aleantes con el magnesio, el aluminio, el cinc y el manganeso. Cada uno de estos elementos aleantes tiene su influencia propia, a veces muy considerable, sobre las propiedades tecnológicas, mecánicas, físicas y químicas de las aleaciones. El aluminio proporciona aumento de

Tabla 261

Aleaciones aluminio-cobre para moldeo

Tipo	Designación convencional y tabla UNI	Estado de la pieza	Características mecánicas: Tracción: R mín kg/mm²	Tracción: A_5 mín %	Dureza: Hd	E kg/mm²	Peso específico kg/dm³	Características tecnológicas	Aplicaciones
Aluminio-Cobre	G-AL CU 12 UNI 3040	Gs Gs TS Gc Gc TS	16 ÷ 21 23 ÷ 24 18 ÷ 23 27 ÷ 30	0,3 ÷ 1,5 1,0 ÷ 1,5 0,3 ÷ 1,5 1,0 ÷ 1,5	65 ÷ 85 100 ÷ 110 70 ÷ 110 110 ÷ 125	7.500	2,96	Colabilidad: suficiente. Maquinabilidad: mediocre. Estanqueidad a presión: suficiente. Características mecánicas a temperatura ordinaria: buenas. Resistencia a la corrosión: mala.	Pistones en coquilla. Piezas mecanizables en caliente.
Aluminio-Cobre	G-AL CU 10 FE MG UNI 3041	Gs Gs TN Gs TA Gc Gc TA	15 ÷ 20 20 ÷ 27 21 ÷ 30 17 ÷ 21 2[illegible] ÷ 36	0 ÷ 1 0 ÷ 1 0 ÷ 0,5 0 ÷ 1 0 ÷ 0,5	75 ÷ 85 85 ÷ 95 110 ÷ 120 75 ÷ 90 125 ÷ 150	7.500	2,95	Colabilidad: suficiente. Maquinabilidad: suficiente. Estanqueidad a presión: mediocre. Características mecánicas a temperatura ordinaria: buenas. Resistencia a la corrosión: mala.	Para piezas que requieran elevadas características de tensión en caliente. Pistones. Culatas de cilindros.
Aluminio-Cobre	G-AL CU 10 NI SI MG UNI 3042	Gs Gs TA Gc Gc R Gc TA Gs TA	15 ÷ 20 22 ÷ 30 20 ÷ 25 19 ÷ 21 35 ÷ 45 32 ÷ 38	0 ÷ 1,0 0 ÷ 0,5 0,5 ÷ 1,0 1,0 ÷ 3,0 0 ÷ 1,0 0,5 ÷ 1,0	95 ÷ 110 135 ÷ 160 85 ÷ 110 70 ÷ 80 135 ÷ 170 115 ÷ 140	7.500	2,94	Colabilidad: buena. Maquinabilidad: buena. Estanqueidad a presión: suficiente. Características mecánicas a temperatura elevada: buenas. Resistencia a la corrosión: mala.	Para piezas que requieran elevadas características de tensión en caliente. Pistones. Culatas de cilindros.
Aluminio-Cobre	G-AL CU 8 UNI 3043	Gs Gc	12,5 ÷ 16 14 ÷ 18	1 ÷ 4 2 ÷ 5	50 ÷ 60 55 ÷ 70	7.500	2,88	Colabilidad: mediocre. Maquinabilidad: mediocre. Estanqueidad a presión: mediocre. Características mecánicas a temperatura elevada: suficientes. Resistencia a la corrosión: mala.	Empleos generales de piezas moldeadas en arena.
Aluminio-Cobre	G-AL CU 4,5 UNI 3044	Gs Gs TN Gs TA	12 ÷ 18 20 ÷ 23 25 ÷ 30	6 ÷ 10 6 ÷ 8,5 2 ÷ 4	50 ÷ 60 55 ÷ 65 75 ÷ 95	7.200	2,81	Colabilidad: mediocre. Maquinabilidad: buena. Estanqueidad a presión: mediocre. Características mecánicas a altas temperaturas: suficiente. Resistencia a la corrosión: mala.	Para piezas que requieran buena maquinabilidad y elevadas características de tensión y dureza. Centros de ruedas de automóviles con cárter cargados.
Aluminio-Cobre	G-AL CU 4 NI MG UNI 3045	Gs TA Gc Gc TN Gc TA	21 ÷ 25 17 ÷ 21 25 ÷ 31 25 ÷ 33	0,5 ÷ 1,0 0,5 ÷ 1,0 0,8 ÷ 1,5 0,3 ÷ 0,5	90 ÷ 100 70 ÷ 90 95 ÷ 110 95 ÷ 115	7.500	2,78	Colabilidad: mediocre. Maquinabilidad: suficiente. Estanqueidad a presión: mediocre. Características mecánicas a temperaturas elevadas: buenas. Resistencia a la corrosión: deficiente.	Para piezas que requieran elevadas características de tensión en caliente. Pistones. Culatas de cilindros.
Aluminio-Cobre	G-AL CU 3 FE MG NI UNI 3046	Gs Gs TN Gs TA Gc Gc TN Gc TA Gc TS	19 ÷ 21 22 ÷ 28 30 ÷ 38 25 ÷ 29 30 ÷ 38 33 ÷ 42 29 ÷ 35	1,0 ÷ 3,0 1,5 ÷ 4,0 1,0 ÷ 2,0 2,0 ÷ 4,0 3,5 ÷ 7,5 1,0 ÷ 5,0 1,5 ÷ 5,5	80 ÷ 90 80 ÷ 100 115 ÷ 135 80 ÷ 95 90 ÷ 110 115 ÷ 150 95 ÷ 130	7.300	2,80	Colabilidad: mediocre. Maquinabilidad: buena. Estanqueidad a presión: mediocre. Características mecánicas a temperatura elevada: buenas. Resistencia a la corrosión: deficiente.	Para empleos generales, piezas moldeadas en arena o en coquilla con características de tensión aun a temperaturas elevadas.
Aluminio-Silicio	G-AL SI 13 UNI 3047	Gs Gs R Gc Gc R Gp	17 ÷ 22 17 ÷ 22 18 ÷ 25 17 ÷ 25 22 ÷ 24	4 ÷ 8 6 ÷ 10 5 ÷ 7 6 ÷ 10 1,5 ÷ 3	50 ÷ 60 50 ÷ 60 50 ÷ 70 50 ÷ 60 60 ÷ 80	7.600	2,65	Colabilidad: buena. Maquinabilidad: mala. Estanqueidad a presión: buena. Características mecánicas a temperatura elevada: mediocres. Resistencia a la corrosión: suficiente.	Piezas que requieran buena colabilidad, como son las de paredes delgadas. Para piezas moldeadas de gran espesor se requieren modificaciones con sodio metálico o con sales especiales.

Aleaciones aluminio-silicio-manganeso-magnesio para moldeo

Tipo	Designación convencional y tabla UNI	Estado de la pieza	Características mecánicas: Tracción R min kg/mm²	Características mecánicas: Tracción A_5 min %	Características mecánicas: Dureza Hd	E kg/mm²	Peso específico kg/dm³	Características tecnológicas	Aplicaciones
Aluminio-Silicio	G-AL SI 13 CU MG UNI 3048	Gs Gc Gp	17 ÷ 22 18 ÷ 24 22 ÷ 26	2 ÷ 5,0 3 ÷ 4,0 1,5 ÷ 3	50 ÷ 65 50 ÷ 80 60 ÷ 80	7.600	2,65	Colabilidad: buena. — Maquinabilidad: mala. — Estanqueidad a presión: suficiente. Características mecánicas a elevada temperatura: mediocres. — Resistencia a la corrosión: mediocre.	Piezas moldeadas de paredes delgadas con buenas características mecánicas.
	G-AL SI 12 MN MG UNI 3049	Gs TA Gc TA	22 ÷ 29 24 ÷ 32	1,0 ÷ 3,0 1,0 ÷ 4,0	80 ÷ 100 80 ÷ 110	7.600	2,65	Colabilidad: buena. — Maquinabilidad: mala. — Estanqueidad a presión: suficiente. Características mecánicas a temperatura elevada: mediocres. — Resistencia a la corrosión: suficiente.	Apropiada para piezas moldeadas que exijan óptima colabilidad, como son las de paredes delgadas con buenas características mecánicas.
	G-AL SI 10 CU MG NI UNI 3050	Gs TA Gc TA	23 ÷ 25 25 ÷ 35	0,5 ÷ 0,7 0,3 ÷ 0,5	100 ÷ 120 95 ÷ 125	7.600	2,7	Colabilidad: buena. — Maquinabilidad. mediocre. — Estanqueidad a presión: suficiente. — Características mecánicas a temperatura elevada: buena. — Resistencia a la corrosión: deficiente.	Pistones moldeados en arena o en coquilla y bonificados.
	G-AL SI 9 MN MG UNI 3051	Gs TA Gc Gc TA	22 ÷ 28 18 ÷ 24 25 ÷ 30	2 ÷ 4 3 ÷ 5 3,5 ÷ 5,5	80 ÷ 90 60 ÷ 75 80 ÷ 95	7.600	2,68	Colabilidad: buena. — Maquinabilidad: deficiente. — Estanqueidad a presión: suficiente. — Características mecánicas a temperatura elevada: suficiente. — Resistencia a la corrosión: mediocre.	Adecuada para empleo general, y también para piezas complicadas.
	G-AL SI 5,5 CU UNI 3052	Gc Gp	17 ÷ 20 20 ÷ 22	3 ÷ 4 1,5 ÷ 4	50 ÷ 75 55 ÷ 75	7.200	2,79	Colabilidad: suficiente.— Maquinabilidad: mediocre.— Estanqueidad a presión: suficiente. — Características mecánicas a temperatura elevada: malas. — Resistencia a la corrosión: suficiente.	Piezas moldeadas brutas para empleo general.
	G-AL SI 4,5 MN MG UNI 3054	Gs TA Gc Gc TA Gp	20 ÷ 30 14 ÷ 20 25 ÷ 32 18 ÷ 20	1,0 ÷ 3,0 2,5 ÷ 5,0 1,0 ÷ 2,0 1,5 ÷ 2,5	80 ÷ 100 55 ÷ 75 90 ÷ 105 55 ÷ 75	7.200	2,65	Colabilidad. suficiente.—Maquinabilidad: suficiente.—Estanqueidad a presión: mediocre. — Características mecánicas a temperatura elevada: malas. — Resistencia a la corrosión: suficiente.	Piezas moldeadas en arena o en coquilla, aun las más complicadas, con resistencia suficiente a la corrosión. La aleación es anodizable.
	G-AL SI 2 MN MG UNI 3055	Gs TA Gc TA	22 ÷ 30 25 ÷ 30	1,0 ÷ 2,5 1,0 ÷ 3,0	80 ÷ 100 90 ÷ 100	7.200	2,70	Colabilidad: mediocre.— Maquinabilidad: buena. — Estanqueidad a presión: mediocre. — Características mecánicas a alta temperatura: malas.—Resistencia a la corrosión: buena.	Para empleo general. Para piezas resistentes a la corrosión. La aleación es anodizable.
Aluminio-Magnesio	G-AL MG 10 UNI 3056	Gs Gs TN Gc Gp	16 ÷ 20 25 ÷ 29 22 ÷ 26 20 ÷ 24	1,5 ÷ 2,5 6,5 ÷ 13 6,0 ÷ 8,0 1,5 ÷ 2,5	65 ÷ 80 75 ÷ 85 70 ÷ 85 70 ÷ 80	6.900	2,58	Colabilidad: deficiente.—Maquinabilidad: buena. — Estanqueidad a presión: deficiente. — Características mecánicas a alta temperatura: buenas. — Resistencia a la corrosión: buena.	Para empleo general. Piezas con óptima resistencia al agua de mar, con elevadas caracter. mecánicas estáticas y dinámicas (choques). Exige técnica.
	G-AL MG 7 UNI 3057	Gs Gs TN Gc Gc TN Gp	16 ÷ 19 18 ÷ 23 24 ÷ 26 26 ÷ 30 20 ÷ 25	2 ÷ 4 3,5 ÷ 5 7 ÷ 10 5 ÷ 11 1,5 ÷ 3	65 ÷ 70 70 ÷ 80 65 ÷ 75 70 ÷ 80 60 ÷ 80	6.900	2,62	Colabilidad: deficiente—Maquinabilidad: buena. — Estanqueidad a presión: mediocre. — Características mecánicas a alta temperatura: mediocres. — Resistencia a la corrosión: buena.	Para piezas moldeadas en general. Buena resistencia a la corrosión del agua del mar. Buenas características de tensión.
	G-AL MG 5 UNI 3058	Gs Gc	16 ÷ 19 20 ÷ 23	3 ÷ 7 8 ÷ 12	55 ÷ 70 60 ÷ 80	6.900	2,65	Colabilidad: mediocre.— Maquinabilidad: suficiente.—Estanqueidad a presión: mediocre. — Características mecánicas a alta temperatura: deficientes. — Resistencia a la corrosión: buena.	Para empleo general. Para piezas que hayan de resistir a la corrosión del agua de mar. Aleación anodizable.
	G-AL MG 3 UNI 3059	Gs Gc	13 ÷ 16 15 ÷ 20	5 ÷ 9 6 ÷ 10	40 ÷ 50 45 ÷ 55	6.900	2,68	Colabilidad: mediocre.— Maquinabilidad: suficiente.—Estanqueidad a presión: mediocre. — Características mecánicas a alta temperatura: deficientes. — Resistencia a la corrosión: buena.	Para empleos generales que exijan características medianas de tensión. Buena resistencia a la corrosión marina. Aleación anodizable.

resistencia; el cinc mejora las propiedades elásticas, el manganeso le da una mayor resistencia a la corrosión.

Según el porcentaje de los elementos aleantes, las aleaciones son más apropiadas para la producción de piezas moldeadas, laminadas, de extrusión, forjadas o estampadas, que responden a muchísimas de las exigencias de la industria mecánica.

Para estas aleaciones, el punto de fusión superior varía entre 600 y 650° C, según las proporciones de los componentes: el punto de fusión inferior varía entre los 400 y los 645° C.

Todas las operaciones con estas aleaciones exigen especiales cuidados y precauciones a causa de la facilidad de oxidación del magnesio a temperaturas elevadas. A la temperatura ordinaria, las piezas se recubren de una película resistente de óxido, que protege la masa metálica de ulterior oxidación. Resisten bien la acción del petróleo y de la bencina; por lo cual se emplean estas aleaciones para la fabricación de depósitos y recipientes, tanto fundidos como soldados. El moldeo se efectúa lo mismo en arena como en coquilla.

Todas estas aleaciones son también mecanizables, siempre que se empleen herramientas especiales y, como refrigerantes, se usen líquidos a base de petróleo.

En espera de la unificación de estas aleaciones, se han reunido en una tabla algunos datos fundamentales de esta clase de aleaciones, actualmente disponibles en el comercio (tabla 265).

Capítulo IV

OTROS METALES Y ALEACIONES

15. Aleaciones antifricción

Se indican con este nombre los materiales empleados para partes de máquinas, tales como cojinetes, cabezas de biela, patines de crucetas, etc., acopladas a órganos dotados de movimiento relativo de deslizamiento, cuando se quiere disminuir el coeficiente de rozamiento, con objeto de evitar el desgaste de uno de los elementos acoplados (por ejemplo, el gorrón), localizando el deterioro sobre el otro elemento, de fácil renovación o sustitución, conservando las características de óptimo funcionamiento del par cinemático. Estos materiales, llamados también *metales blancos* (aunque actualmente se emplean materiales de color rosado, derivados del cobre, al que pueden estar asociados), deben presentar las siguientes características:

a) Presentar bajo coeficiente de rozamiento en el acoplamiento deslizante con el otro elemento del par cinemático.

b) Presentar notable resistencia a fuertes cargas, aun tratándose de choques y gran resistencia a la fatiga.

c) Conservar una elevada dureza superficial, para no perjudicar al otro elemento acoplado, aun a las máximas temperaturas admitidas de funcionamiento.

d) Desgastarse lentamente por frotamiento.

e) Adaptarse, sin perder rigidez, a las eventuales irregularidades o movimientos de flexión de los gorrones.

f) Poseer un elevado grado de plasticidad.

g) Tener buena conductibilidad térmica, de modo que el calor desarrollado por el trabajo de rozamiento, pueda disiparse con facilidad.

Los materiales que reúnen estas condiciones se caracterizan por una estructura cristalina especial, estando formados por un aglomerado de cristales duros, de tamaño relativamente grande, diseminados en una masa plástica y blanda y son aleaciones metálicas de tres (ternarias) o cuatro (cuaternarias) o más elementos. Recientemente se han producido los materiales antifricción por sinterización, proceso que permite incorporar al metal de un 10 a un 30 % en volumen de aceite lubricante. Durante el funcionamiento, cuando se eleva la temperatura del metal antifricción, éste aceite se extiende sobre la superficie de rozamiento por capilaridad, dada la porosidad del material; durante los períodos de paro, cuando baja la temperatura, el aceite es reabsorbido. Se tienen pues cojinetes autolubricantes que se pueden montar sin operaciones de acabado, que taparían los poros.

Puede también incorporarse como material lubricante el grafito coloidal. Los cojinetes de este tipo tienen aplicación en la industria motorística y en algunas máquinas textiles.

Las aleaciones metálicas antifricción se clasifican, según los elementos fundamentales que las componen, del modo siguiente:

a) aleaciones a base de *cobre,* conteniendo además de este elemento una proporción del 15 al 20 % de estaño *(metalrosa);*

b) aleaciones a base de plomo, sin estaño, conteniendo antimonio. Son aleaciones baratas, muy plásticas, apropiadas para cargas moderadas;

c) aleaciones a base de estaño, con antimonio, sin (o con poquísimo) plomo y con pequeña proporción de cobre. De precio superior a las anteriores, apropiadas para grandes cargas. Tal es el metal Babbit, con 1,80 ÷ 90 % de estaño, 1,8 ÷ 10 % de antimonio, y el 3 ÷ 5 % de cobre.

Entre las aleaciones *b)* y *c)* pueden intercalarse las que contienen mucho plomo y moderadas cantidades de estaño y antimonio, apropiadas para cargas medianas. Entre éstas figura el Magnolia, con un 68 % de plomo, el 14 % de antimonio y el 18 % de estaño.

Son muchísimos los metales antifricción empleados. Los unificados son cuatro tipos de metales blancos (UNI 2184) y cinco tipos que van decayendo (UNI 2185), estudiados para sustituir a los anteriores, durante la guerra, para ahorrar estaño. Los principales datos correspondientes a los tipos unificados se han recogido en la tabla 266.

Tipos	Designación convencional de los semifabricados	Laminados (chapas, flejes, bisagras)					De extrusión				
		Estado de entrega	Espesores mm	Características mecánicas			Estado de entrega	Sección A máx mm²	Características mecánicas		
				Tracción		Dureza			Tracción		Dureza
				R mín kg/mm²	A5 mín %	Hd			R mín kg/mm²	A5 mín %	Hd
ALUMINIO	P- AL P 99,5 UNI 3566	R	Todos	7 ÷ 9	35 ÷ 55	18 ÷ 25					
		H 15	0,8 ÷ 8	7 ÷ 10	18 ÷ 25	21 ÷ 28	Hp	12.000	7 ÷ 10	3 ÷ 7	18 ÷ 28
		H 30	0,8 ÷ 8	9 ÷ 13	10 ÷ 20	28 ÷ 35					
		H 50	0,8 ÷ 8	11 ÷ 14	7 ÷ 12	30 ÷ 38	R	12.000	6 ÷ 9	2 ÷ 4,5	18 ÷ 25
		H 70	0,8 ÷ 4	13 ÷ 18	4 ÷ 9	35 ÷ 45					
	P- AL P 99,0 UNI 3567	R	Todos	7 ÷ 10	30 ÷ 50	20 ÷ 27					
		H 15	0,8 ÷ 8	8 ÷ 11	15 ÷ 25	23 ÷ 30	Hp	12.000	7 ÷ 11	18 ÷ 35	20 ÷ 30
		H 30	0,8 ÷ 8	10 ÷ 14	9 ÷ 18	30 ÷ 40					
		H 50	0,8 ÷ 8	12 ÷ 15	6 ÷ 11	32 ÷ 42	R	12.000	7 ÷ 10	30 ÷ 50	20 ÷ 27
		H 70	0,8 ÷ 4	14 ÷ 20	4 ÷ 8	40 ÷ 50					
ALUMINIO MANGANESO	P- AL Mn 1,2 UNI 3568	R	Todos	8 ÷ 13	25 ÷ 45	25 ÷ 35					
		H 25	0,8 ÷ 6	14 ÷ 18	8 ÷ 20	40 ÷ 55	Hp	12.000	10 ÷ 15	25 ÷ 40	30 ÷ 45
		H 40	0,8 ÷ 6	17 ÷ 21	4 ÷ 10	45 ÷ 60	R	12.000	10 ÷ 12	25 ÷ 45	25 ÷ 40
		H 60	0,8 ÷ 4	19 ÷ 25	3 ÷ 8	50 ÷ 65					
ALUMINIO SILICIO MAGNESIO	P- Al Si 0,4 Mg UNI 3569 S	R	Todos	8 ÷ 12	25 ÷ 40	25 ÷ 35	R	12.000	9 ÷ 13	18 ÷ 30	30 ÷ 45
		TN	0,8 ÷ 4	20 ÷ 24	20 ÷ 26	40 ÷ 50	Ta A	0,8 a < 1,5	21 ÷ 26	10 ÷ 20	60 ÷ 80
								1,5 a < 3,5	21 ÷ 25	10 ÷ 20	60 ÷ 80
		TA 16	0,8 ÷ 4	23 ÷ 27	12 ÷ 19	70 ÷ 90		3,5 ÷ 10	19 ÷ 23	10 ÷ 20	55 ÷ 75
		TA 16 H 20	0,8 ÷ 2	26 ÷ 30	2 ÷ 6	80 ÷ 90	TA 16	12.000	24 ÷ 28	11 ÷ 15	70 ÷ 90
	P- Al Si 0,5 Mg UNI 3570	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ALUMINIO SILICIO MAGNESIO MANGANESO	P- Al Si 1 Mg Mn UNI 3571 (*)	R	Todos	9 ÷ 14	25 ÷ 40	30 ÷ 40	R	12.000	11 ÷ 15	20 ÷ 30	30 ÷ 45
		TN	0,8 ÷ 4	21 ÷ 28	22 ÷ 30	50 ÷ 60					
		TA 14	0,8 ÷ 4	24 ÷ 30	20 ÷ 26	70 ÷ 90	TA 14	12.000	24 ÷ 32	16 ÷ 26	70 ÷ 90
		TA 16	0,8 ÷ 4	30 ÷ 35	12 ÷ 20	90 ÷ 120	TA 16	12.000	32 ÷ 38	10 ÷ 16	90 ÷ 120
		TA 16 H 20	0,8 ÷ 2	35 ÷ 40	4 ÷ 8	100 ÷ 130					
ALUMINIO SILICIO MAGNESIO COBRE NÍQUEL	P-AlSi 12 MgCuNi UNI 3572 (*)	—	—	—	—	—	TA	12.000	38 ÷ 42	5 ÷ 12	110 ÷ 135
ALUMINIO MAGNESIO	P- Al Mg 1,5 UNI 3573	R	Todos	14 ÷ 17	25 ÷ 35	35 ÷ 45					
		H 25	0,8 ÷ 6	15 ÷ 20	7 ÷ 15	50 ÷ 60	Hp	12.000	14 ÷ 19	20 ÷ 30	35 ÷ 50
		H 50	0,8 ÷ 4	19 ÷ 24	5 ÷ 8	60 ÷ 70					

(*) La aleación se emplea también para forjados y estampados cuyas características mecánicas se indican en la tabla de unificación.

Características de las aleaciones de aluminio para trabajos plásticos

Estirados									Módulo de elasticidad E kg/mm²	Peso específico kg/dm³	Características t…			
Tubos (de 12 a 150 mm)					Alambres						Deformación en frío según el estado del material	Soldabilidad		
Estado de entrega	Espesor S mm	Características mecánicas R mín kg/mm²	A5 mín %	Hd	Estado de entrega	Diámetro d mm	Caracter. mecánicas R mín kg/mm²	A5 mín %				Autógena	Hetero-génea	El
R	Todos	7 ÷ 9	35 ÷ 55	18 ÷ 25	R	Todos	7 ÷ 9	20 ÷ 30	6.900	2,7		Buena	Buena	Bu
H 30	0,5 a < 1,2 1,2 a < 5 5 ÷ 9	9 ÷ 13 9 ÷ 13 9 ÷ 13	9 ÷ 20 10 ÷ 20 11 ÷ 20	28 ÷ 35 28 ÷ 35 28 ÷ 35	H 30	0,7 a < 3 3 ÷ 8	11 ÷ 13 10 ÷ 12	4 ÷ 7 4 ÷ 7						
H 70	0,5 a < 1,2 1,2 ÷ 4	13 ÷ 18 13 ÷ 18	3 ÷ 9 4 ÷ 9	35 ÷ 45 35 ÷ 45	H 70	0,7 a < 3 3 ÷ 4,5	17 ÷ 19 16 ÷ 18	1 ÷ 2,5 1,5 ÷ 2,5						
R	Todos	7 ÷ 10	35 ÷ 50	20 ÷ 27	R	Todos	7 ÷ 10	18 ÷ 30	7.000	2,7		Buena	Buena	Bu
H 30	0,5 a < 1,2 1,2 a < 5 5 ÷ 9	10 ÷ 14 10 ÷ 14 10 ÷ 14	7 ÷ 18 8 ÷ 18 9 ÷ 18	30 ÷ 40 30 ÷ 40 30 ÷ 40	H 30	0,7 a < 3 3 ÷ 8	11 ÷ 13 10 ÷ 12	3,5 ÷ 7 3,5 ÷ 7						
H 70	0,5 a < 1,2 1,2 ÷ 4	14 ÷ 20 14 ÷ 20	3 ÷ 8 4 ÷ 8	40 ÷ 50 40 ÷ 50	H 70	0,7 a < 3 3 ÷ 4,5	18 ÷ 20 17 ÷ 19	1 ÷ 2 1,5 ÷ 2						
R	Todos	10 ÷ 13	25 ÷ 45	25 ÷ 35	R	Todos	10 ÷ 13	20 ÷ 30	7.000	2,73		Buena	Buena	Bu
H 25	0,6 a < 1,2 1,2 a < 5 5 ÷ 9	14 ÷ 18 14 ÷ 18 14 ÷ 18	8 ÷ 20 9 ÷ 20 10 ÷ 20	40 ÷ 55 40 ÷ 55 40 ÷ 55	H 25	0,7 a < 3 3 ÷ 8	14 ÷ 18 14 ÷ 18	4 ÷ 10 6 ÷ 15						
H 60	0,6 ÷ 4	19 ÷ 25	3 ÷ 10	45 ÷ 60	H 60	0,7 a < 3 3 ÷ 5	19 ÷ 25 19 ÷ 25	1 ÷ 3 2 ÷ 5						
R	Todos	8 ÷ 12	25 ÷ 40	25 ÷ 35	R	Todos	8 ÷ 12	20 ÷ 30	6.700	2,70	Estado R y TN: buena Para los otros estados: deficiente	Suficiente	Buena	Bu
TN	0,6 a < 1,2 1,9 ÷ 6	20 ÷ 24 20 ÷ 24	20 ÷ 28 22 ÷ 30	40 ÷ 50 40 ÷ 50	THA 16	0,6 a < 2 2 ÷ 4	30 ÷ 35 30 ÷ 35	4 ÷ 9 5 ÷ 9						
TA 16	0,6 a < 1,2 1,2 ÷ 6	23 ÷ 27 23 ÷ 27	11 ÷ 19 12 ÷ 19	70 ÷ 90 70 ÷ 90										
TA 16 H 20	0,6 a < 1,2 1,2 a < 6	26 ÷ 30 26 ÷ 30	2 ÷ 5 3 ÷ 6	80 ÷ 90 80 ÷ 90	TA 16 H 25	0,6 a < 2 2 ÷ 4	34 ÷ 38 34 ÷ 38	1,5 ÷ 3 2,5 ÷ 3						
—	—	—	—	—	R	Todos	8 ÷ 12	20 ÷ 30	6.700	2,7	Estado R: mediocre Para los otros estados: buena	Suficiente	Buena	Bu
					THA 16	0,6 a < 2 2 ÷ 4	30 ÷ 35 30 ÷ 35	4 ÷ 9 5 ÷ 9						
R	Todos	10 ÷ 14	25 ÷ 40	25 ÷ 40	R	Todos	11 ÷ 15	15 ÷ 30	7.000	2,69	Estado R y TN: buena Para los otros estados: progresivamente mediocre a deficiente	Suficiente	Buena	Bu
TN	0,6 a < 1,2 1,2 ÷ 6	21 ÷ 28 21 ÷ 28	20 ÷ 28 22 ÷ 30	50 ÷ 60 50 ÷ 60	TN	0,7 ÷ 8	21 ÷ 28	10 ÷ 20						
TA 14	0,6 a < 1,2 1,2 ÷ 6	24 ÷ 30 24 ÷ 30	18 ÷ 24 20 ÷ 26	70 ÷ 90 70 ÷ 90	TA 14	0,7 ÷ 8	24 ÷ 30	8 ÷ 18						
TA 16	0,6 a < 1,2 1,2 ÷ 6	30 ÷ 36 30 ÷ 36	10 ÷ 15 11 ÷ 16	90 ÷ 120 90 ÷ 120	TA 16	0,7 ÷ 8	30 ÷ 36	5 ÷ 15						
TA 16 H 20	0,7 a < 1,2 1,2 ÷ 6	36 ÷ 42 36 ÷ 42	2 ÷ 5 3 ÷ 6	100 ÷ 130 100 ÷ 130	TA 16 H 20	2 ÷ 4	36 ÷ 42	2 ÷ 5						
—	—	—	—	—	—	—	—	—	7.900	2,69	Suficiente (deformabilidad en caliente: buena)	Suficiente	Suficiente	M
R	Todos	14 ÷ 17	25 ÷ 35	35 ÷ 45	R	Todos	14 ÷ 17	12 ÷ 20	7.000	2,7	Estado R: buena Estado H 25: mediocre Estado H 50: deficiente	Buena	Buena	Bu
H 25	0,6 a < 1,2 1,2 a < 5 5 ÷ 9	17 ÷ 20 17 ÷ 20 17 ÷ 20	6 ÷ 15 7 ÷ 15 8 ÷ 15	50 ÷ 60 50 ÷ 60 50 ÷ 60	H 25	0,7 a < 3 3 ÷ 8	17 ÷ 20 17 ÷ 20	5 ÷ 10 6 ÷ 10						
H 50	0,6 a < 1,2 1,2 ÷ 4	20 ÷ 25 20 ÷ 25	4 ÷ 8 5 ÷ 8	60 ÷ 70 60 ÷ 70	H 50	0,7 a < 3 3 ÷ 4,5	20 ÷ 25 20 ÷ 25	2 ÷ 4 3 ÷ 4						

lo dad m²	Peso específico kg/dm²	Características tecnológicas: Deformación en frío según el estado del material	Soldabilidad: Autógena	Soldabilidad: Hetero-génea	Soldabilidad: Eléctrica	Trabajo con herramienta: Estado R	Trabajo con herramienta: Reforzado H 15 ÷ H 30	Trabajo con herramienta: Reforzado H 50 ÷ H 70	Resistencia a la corrosión: Marina o industrial	Resistencia a la corrosión: Urbana y rural	Resistencia a la corrosión: Interior seco	Aplicaciones
0	2,7		Buena	Buena	Buena	Mediocre	Suficiente	Suficiente	Buena	Buena	Buena	Apropiado para aplicaciones en la industria química, utensilios domésticos, bisutería metálica, tejados y empleo en arquitectura. Piezas en general a las que no se exija gran resistencia mecánica.
0	2,7		Buena	Buena	Buena	Mediocre	Suficiente	Suficiente	Buena	Buena	Buena	Como las anteriores.
0	2,73		Buena	Buena	Buena	Mediocre	Suficiente	Suficiente	De suficiente a buena	Buena	Buena	Trabajos de embutido profundo, aparatos de química, recipientes.
0	2,70	Estado R y TN: buena Para los otros estados: deficiente	Suficiente	Buena	Buena	Estado R y TN: mediocre	Otros estados: buena		De suficiente a buena	Buena	Buena	Aplicaciones de arquitectura y decoración. Mobiliario, industria química.
0	2,7	Estado R: mediocre Para los otros estados: buena	Suficiente	Buena	Buena				De suficiente a buena	Buena	Buena	Apropiado para conductores eléctricos.
0	2,69	Estado R y TN: buena Para los otros estados: progresivamente mediocre a deficiente	Suficiente	Buena	Buena	Estado R y TN: mediocre	Para los otros estados: buena		De suficiente a buena	Buena	Buena	Para construcciones mecánicas expuestas a moderada intensidad corrosiva, arquitectura y decoración mobiliaria, rótulos comerciales, industria química, transportes terrestres.
0	2,69	Suficiente (deformabilidad en caliente: buena)	Suficiente	Suficiente	Mala	Mediocre	Mediocre		Deficiente	Suficiente	Buena	Apropiado para émbolos forjados o estampados en caliente y en general para aplicaciones que exijan poca dilatabilidad y buena resistencia mecánica en caliente.
0	2,7	Estado R: buena Estado H 25: mediocre Estado H 50: deficiente	Buena	Buena	Buena	Estado R: mediocre	Para los otros estados: suficiente		Buena	Buena	Buena	Apropiado para aplicaciones que requieran una gran aptitud para el estampado profundo y para deformaciones en general con resistencia mecánica superior a la del aluminio.

Tipos	Designación convencional de los semifabricados y Tabla UNI	Laminados (chapas, flejes, bisagras) Estado de entrega	Espesores mm	Características mecánicas Carga de rotura R kg/mm²	Alargamiento A5 %	Dureza Hd kg/mm²	De extrusión Estado de entrega	Espesores o sección máx A mm²	Características mecánicas Carga de rotura R kg/mm²	Alargamiento A5 %	Dureza Hd kg/mm²
ALUMINIO MAGNESIO	P- Al Hg 2,5 UNI 3574	R H 20 H 40	Todos 0,8 ÷ 6 0,8 ÷ 4	16 ÷ 22 22 ÷ 26 26 ÷ 29	22 ÷ 30 8 ÷ 15 5 ÷ 9	45 ÷ 55 60 ÷ 70 70 ÷ 85	Hp	12.000	16 ÷ 24	18 ÷ 28	45 ÷ 60
	P- Al Mg 3,5 UNI 3575	R H 20 H 35	Todos 0,8 ÷ 6 0,8 ÷ 4	21 ÷ 26 25 ÷ 29 29 ÷ 33	20 ÷ 30 12 ÷ 18 4 ÷ 9	55 ÷ 70 75 ÷ 85 85 ÷ 100	Hp	12.000	22 ÷ 28	16 ÷ 27	55 ÷ 75
	P- Al Mg 5 UNI 3576	R H 10 H 25	Todos 0,8 ÷ 6 0,8 ÷ 4	26 ÷ 32 30 ÷ 35 35 ÷ 40	20 ÷ 30 12 ÷ 18 8 ÷ 13	65 ÷ 80 85 ÷ 95 95 ÷ 110	Hp	12.000	26 ÷ 32	16 ÷ 27	65 ÷ 85
ALUMINIO COBRE MAGNESIO SILICIO	P- Al Cu 2,5 Mg Si UNI 3577	R	Todos	10 ÷ 15	25 ÷ 40	35 ÷ 45	—	—	—	—	—
		TN	0,5 a < 6 6 a < 10 10 ÷ 20	27 ÷ 35 27 ÷ 35 27 ÷ 35	24 ÷ 32 23 ÷ 32 22 ÷ 32	80 ÷ 90 80 ÷ 90 80 ÷ 90	— —	— —	— —	— —	— —
ALUMINIO COBRE HIERRO MAGNESIO NÍQUEL	P-AlCu 3,5 FeMgNi UNI 3578 S (*)	R	1 a < 10 10 ÷ 20	16 ÷ 20 16 ÷ 20	16 ÷ 27 15 ÷ 25	45 ÷ 60 45 ÷ 60	R	12.000	18 ÷ 22	12 ÷ 18	50 ÷ 65
		TA	1 a < 10 10 ÷ 20	38 ÷ 43 36 ÷ 42	10 ÷ 15 8 ÷ 15	120 ÷ 140 120 ÷ 140	TA	12.000	40 ÷ 45	9 ÷ 15	125 ÷ 14
ALUMINIO COBRE MAGNESIO MANGANESO	P-Al Cu 4 Mg Mn UNI 3579 (*)	R	0,5 a < 6,5 6,5 a < 13 13 ÷ 20	17 ÷ 23 17 ÷ 23 17 ÷ 23	18 ÷ 26 16 ÷ 24 14 ÷ 22	45 ÷ 65 45 ÷ 65 45 ÷ 65	R	Todos	18 ÷ 25	11 ÷ 20	45 ÷ 65
		THN	0,5 a < 3,5 3,5 a > 6,5 6,5 a > 13 13 ÷ 20	39 ÷ 44 40 ÷ 44 40 ÷ 44 39 ÷ 44	19 ÷ 23 18 ÷ 22 15 ÷ 19 13 ÷ 17	100 ÷ 125 100 ÷ 125 100 ÷ 125 100 ÷ 125	TN	1,5 a < 6,5 6,5 a < 19 19 ÷ 38 16.000 16.000 ÷ ÷ 21.000	38 ÷ 44 38 ÷ 44 39 ÷ 45 42 ÷ 47 39 ÷ 45	15 ÷ 20 12 ÷ 18 10 ÷ 16 9 ÷ 14 8 ÷ 12	100 ÷ 12 100 ÷ 12 100 ÷ 12 100 ÷ 12 100 ÷ 12
	P-Al Cu 4 Mg Mn placada UNI 3580	R	0,5 a < 6,5 6,5 a < 13 13 ÷ 20	16 ÷ 22 17 ÷ 23 17 ÷ 23	18 ÷ 26 16 ÷ 24 14 ÷ 22	— — —					
		THN	0,5 a < 3,5 3,5 a < 6,5 6,5 a < 13 13 ÷ 20	37 ÷ 42 38 ÷ 43 38 ÷ 43 37 ÷ 42	19 ÷ 23 18 ÷ 22 15 ÷ 19 13 ÷ 17	— — — —					
ALUMINIO COBRE SILICIO MANGANESO MAGNESIO	P-AlCu4,4SiMnMg UNI 3581 S (*)						R TN	Todos Todos	19 ÷ 21 35 ÷ 39	12 ÷ 18 12 ÷ 16	45 ÷ 55 105 ÷ 12
							TA	3 ÷ 13 > 13 ÷ 20 > 20	42 ÷ 48 45 ÷ 50 47,5 ÷ 53	7 ÷ 10 7 ÷ 10 7 ÷ 10	125 ÷ 14 125 ÷ 14 125 ÷ 14
	P-AlCu4,4SiMnMg placada UNI 3582 S	R	0,5 ÷ 20	19 ÷ 21	16 ÷ 20	—					
		THN	0,5 ÷ 1 > 1 ÷ 1,5	38,5 ÷ 42 40 ÷ 44	16 ÷ 20 15 ÷ 19	— —					
		TA	0,5 ÷ 1 < 1 ÷ 13 < 13 ÷ 20	44 ÷ 49 45 ÷ 50 47 ÷ 53	8,5 ÷ 14 8 ÷ 14 6 ÷ 12	— — —					
ALUMINIO COBRE MAGNESIO MANGANESO	P-AlCu 4,5 MgMn UNI 5383 S	R	0,5 a < 6,5 6,5 a < 13 13 ÷ 20	18 ÷ 23 18 ÷ 23 18 ÷ 23	18 ÷ 26 16 ÷ 26 14 ÷ 22	45 ÷ 65 45 ÷ 65 45 ÷ 65	R	Todos	20 ÷ 24,5	11 ÷ 18	50 ÷ 70
		THN	0,5 a < 3,5 3,5 a < 6,5 6,5 a < 13 13 ÷ 20	45 ÷ 50 45 ÷ 50 43,5 ÷ 48 43,5 ÷ 48	18 ÷ 22 16 ÷ 20 12 ÷ 16 8 ÷ 12	110 ÷ 125 110 ÷ 125 110 ÷ 125 110 ÷ 125	TN	1,5 a < 6,5 6,5 a < 19 19 < 38 A 16.000 1.600 ÷ ÷ 2.100	40 ÷ 48 42 ÷ 48 45,5 ÷ 50 49 ÷ 53 47,5 ÷ 52	12 ÷ 18 12 ÷ 18 10 ÷ 16 10 ÷ 16 8 ÷ 14	115 ÷ 13 115 ÷ 13 115 ÷ 13 115 ÷ 13 115 ÷ 13
		TH 06 N	0,5 a < 1,5 1,5 a < 6,5 6,5 ÷ 13	48,5 ÷ 52 48,5 ÷ 52 48,5 ÷ 52	53 ÷ 17 12 ÷ 16 10 ÷ 14	110 ÷ 125 110 ÷ 125 110 ÷ 125					
	P-AlCu 4,5 MgMn placada UNI 3584 S	R	0,5 a < 6,5 6,5 a < 13 13 ÷ 20	17 ÷ 22 18 ÷ 23 18 ÷ 23	18 ÷ 26 16 ÷ 24 14 ÷ 22	— — —					
		THN	0,5 a < 1,5 1,5 a > 3,5 3,5 ÷ 7	41,5 ÷ 46 43,5 ÷ 48 43,5 ÷ 48	17,5 ÷ 22 16,5 ÷ 21 14 ÷ 17	— — —					
		TH 06 N	0,5 a < 1,5 1,5 a < 6,5 6,5 ÷ 13	43,5 ÷ 48 47,5 ÷ 52 47,5 ÷ 52	11 ÷ 15 10 ÷ 14 9 ÷ 13	— — —					

Características de las aleaciones de aluminio para trabajos plásticos

Estirados									Módulo de elasticidad E kg/mm²	Peso específico kg/dm³	Características t		
Tubos (de 12 a 150 mm)					Alambres						Deformabilidad en frío según el estado del material	Sol	
Estado de entrega	Espesor mm	Características mecánicas: Carga de rotura R kg/mm²	Alargamiento A %	Dureza Hd kg/mm²	Estado de entrega	Diámetro mm	Caracter mecánica: Carga de rotura R kg/mm²	Alargamiento (sobre 200 mm) A %				Autógena	H g
R	Todos	16 ÷ 28	22 ÷ 30	45 ÷ 55	R	Todos	16 ÷ 22	12 ÷ 20	7.000	2,68	Estado R: buena Estado H 20. mediocre Estado H 40: deficiente	Buena	Bue
H 20	0,6 a < 1,2 1,2 a < 5 5 ÷ 9	22 ÷ 26 22 ÷ 26 22 ÷ 26	6 ÷ 14 7 ÷ 14 8 ÷ 14	60 ÷ 70 60 ÷ 70 60 ÷ 70	H 20	0,7 a < 3 3 ÷ 8	22 ÷ 26 22 ÷ 26	5 ÷ 10 6 ÷ 10					
H 40	0,6 a < 1,2 1,2 ÷ 4	26 ÷ 29 26 ÷ 29	4 ÷ 8 5 ÷ 8	70 ÷ 80 70 ÷ 80	H 40	0,7 a < 3 3 ÷ 4,5	26 ÷ 29 26 ÷ 29	2 ÷ 4 3 ÷ 4					
R	Todos	22 ÷ 26	20 ÷ 30	55 ÷ 70	R	Todos			7.000	2,67	Estado R: buena Estado H 20. mediocre Estado H 35: deficiente	Buena	Bu
H 20	0,6 a < 1,2 1,2 a < 5 5 ÷ 9	25 ÷ 29 25 ÷ 29 25 ÷ 29	11 ÷ 18 12 ÷ 18 13 ÷ 18	75 ÷ 85 75 ÷ 85 75 ÷ 85	H 20	0,7 a 3 3 ÷ 8	25 ÷ 29 25 ÷ 29	5 ÷ 10 6 ÷ 10					
H 35	0,6 a < 1,2 1,2 ÷ 4	28 ÷ 33 28 ÷ 33	3,5 ÷ 9 4 ÷ 9	85 ÷ 100 85 ÷ 100	H 35	0,7 a < 3 3 ÷ 4,5	29 ÷ 33 29 ÷ 33	2 ÷ 4 3 ÷ 4					
R	Todos	26 ÷ 32	20 ÷ 30	65 ÷ 80	R	Todos	26 ÷ 32	12 ÷ 20	7.000	2,65	Estado R: buena Estado H 10: mediocre Estado H 25: deficiente	Suficiente	Suf
H 10	0,6 a < 1,2 1,2 a < 5 5 ÷ 9	30 ÷ 35 30 ÷ 35 30 ÷ 35	11 ÷ 18 12 ÷ 18 13 ÷ 18	85 ÷ 95 85 ÷ 95 85 ÷ 95	H 10	0,7 a < 3 3 ÷ 8	30 ÷ 35 30 ÷ 35	5 ÷ 10 6 ÷ 10					
H 25	0,6 a < 1,2 1,2 ÷ 4	34 ÷ 40 34 ÷ 40	6 ÷ 13 7 ÷ 13	95 ÷ 110 95 ÷ 110	H 25	0,7 a < 3 3 ÷ 4,5	37 ÷ 40 37 ÷ 40	1,5 ÷ 4 2 ÷ 4					
—	—	—	—	—	R	Todos	10 ÷ 15	20 ÷ 30	7.200	2,75	Estado R: buena Estado TN: deficiente	Deficiente o mala	Suf.
— —	— —	— —	— —	— —	TN	0,7 a < 3 3 ÷ 8	27 ÷ 35 27 ÷ 35	15 ÷ 23 16 ÷ 23					
— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	7.300	2,80	Buena	Deficiente	Suf
R	0,5 a < 1,5 1,5 a < 6 ≥ 6	17 ÷ 23	16 ÷ 23	45 ÷ 65	R	0,7 ÷ 8	18 ÷ 24,5	10 ÷ 16	7.250	2,79	Estado R: mediocre Estados THN y TN: mala	Deficiente o mala	Suf
THN Tubos Ø 6,5 a < 50	0,6 a < 6,5 6,5 ÷ 13	39 ÷ 43 40 ÷ 45	18 ÷ 22 15 ÷ 20	100 ÷ 125 100 ÷ 125	THN	0,7 ÷ 8	40 ÷ 44	10 ÷ 16					
THN Tubos Ø 60 ÷ 150	1 a < 6,5 6,5 ÷ 13	39 ÷ 43 40 ÷ 45	16 ÷ 20 13 ÷ 17	100 ÷ 125 100 ÷ 125									
									7.150	2,79	Estado R: mediocre Estado THN: mala	Deficiente	Sufi
									7.400	2,80	Estado R: mediocre Otros estados: mala	Deficiente o mala	Suf
									7.300	2,80	Estado R: mediocre Otros estados: mala	Mala	Sufi
R Todos los tubos	0,5 a < 1,5 1,5 a < 6 ≥ 6	18 ÷ 25 18 ÷ 23 18 ÷ 23	16 ÷ 23 15 ÷ 21 14 ÷ 20	45 ÷ 65 45 ÷ 65 45 ÷ 65	R	Todos	20 ÷ 24,5	9 ÷ 16	7.400	2,77	Estado R: mediocre Otros estados: mala	Deficiente o mala	Sufi
THN Tubos Ø 6,5 a < 50	0,6 a < 6,5 ≥ 6,5	45 ÷ 50 45 ÷ 50	14 ÷ 18 16 ÷ 20	110 ÷ 125 110 ÷ 125	TN	0,7 a < 3,5	45 ÷ 50	9 ÷ 16					
THN Tubos ≦ 50 ÷ 150	< 6,5 ≥ 6,5	45 ÷ 50 45 ÷ 50	10 ÷ 14 12 ÷ 16	110 ÷ 125 110 ÷ 125		3,5 ÷ 8	45 ÷ 50	10 ÷ 17					
									7.300	2,77	Estado R: mediocre Otros estados: mala	Deficiente o mala	Sufi

ódulo de ticidad E /mm²	Peso específico kg/dm³	Características tecnológicas					Resistencia a la corrosión			Aplicaciones
		Deformabilidad en frío según el estado del material	Soldabilidad			Maquinabilidad según el estado del material	Marina o industrial	Urbana y rural	Interior seco	
			Autógena	Heterogénea	Eléctrica					
7.000	2,68	Estado R: buena Estado H 20. mediocre Estado H 40: deficiente	Buena	Buena	Buena	Estado R: mediocre Estados H 20 y H 40: suficiente	De suficiente a buena	Buena	Buena	Para aplicaciones que requieran buena deformabilidad en frío; junto con una buena resistencia mecánica.
7.000	2,67	Estado R: buena Estado H 20. mediocre Estado H 35: deficiente	Buena	Buena	Buena	Estado R: mediocre Estados H 20 y H 35: buena	Buena	Buena	Buena	Para aplicaciones estructurales y decorativas que deban soldarse y ofrecer buena resistencia a la corrosión marina.
7.000	2,65	Estado R: buena Estado H 10: mediocre Estado H 25: deficiente	Suficiente	Suficiente	Suficiente	Estado R: mediocre Estados H 10 y H 25: buena	Buena	Buena	Buena	Para aplicaciones estructurales y decorativas que deban soldarse y tener elevadas características mecánicas junto con una óptima resistencia a la corrosión.
7.200	2,75	Estado R: buena Estado TN: deficiente	Deficiente o mala	Suficiente	Buena	Buena	Deficiente o mala	Suficiente	Buena	Para piezas embutidas y para remaches.
7.300	2,80	Buena	Deficiente	Suficiente	Buena	Buena	Deficiente	Mediocre	Buena	Apropiado para piezas forjadas y estampadas en caliente para usos generales. Émbolos fuertemente cargados en caliente; mecánica general y tornillería
7.250	2,79	Estado R: mediocre Estados THN y TN: mala	Deficiente o mala	Suficiente	Buena	Buena	Deficiente o mala	Suficiente	Buena	Apropiado para piezas que requieran características mecánicas bastante elevadas, unidas a buena plasticidad y buena deformabilidad.
7.150	2,79	Estado R: mediocre Estado THN: mala	Deficiente	Suficiente	Buena		Buena	Buena	Buena	Para aplicaciones que requieran características mecánicas bastante elevadas. unidas a buena plasticidad y buena resistencia a la corrosión.
7.400	2,80	Estado R: mediocre Otros estados: mala	Deficiente o mala	Suficiente	Buena	Buena	Deficiente o mala	Suficiente	Buena	Para aplicaciones que requieran elevadas características mecánicas junto con buena deformabilidad y elevada dureza. Tienen empleo típico para piezas forjadas, fuertemente cargadas, uniones y piezas de avión diversas.
7.300	2,80	Estado R: mediocre Otros estados: mala	Mala	Suficiente	Buena		Buena	Buena	Buena	Para aplicaciones que requieran características elevadas, unidas a buena resistencia a la corrosión por efecto del placado con aleación de aluminio: P- Al Si; Mg Mn UNI 3571
7.400	2,77	Estado R: mediocre Otros estados: mala	Deficiente o mala	Suficiente	Buena	Buena	Deficiente o mala	Suficiente	Buena	Para aplicaciones que requieran elevadas características mecánicas.
7.300	2,77	Estado R: mediocre Otros estados: mala	Deficiente o mala	Suficiente	Buena		Buena	Buena	Buena	Para aplicaciones que requieran elevadas características mecánicas y buena resistencia a la corrosión (por efecto del placado de aluminio puro).

Datos fundamentales de las aleaciones ultraligeras más conocidas no unificadas

	Tipo	Designación comercial	Análisis químico medio de los elementos principales Al %	Zn %	Mg %	Estado del material moldeado en	Ensayo de tracción: Carga de rotura R kg/mm²	Límite de elasticidad kg/mm²	Alargamiento A_5 %	Dureza Brinell Hd 5/250/30 kg/mm²	Aplicaciones
Aleaciones ultraligeras	Para moldeo	**Elektrón AZF** **Atesia S**	4	3	0,3	Arena Arena	17 ÷ 22	4	3 ÷ 5	52 ÷ 56	Piezas sometidas a esfuerzos de choque, cárter, palancas para turboventiladores, etc.
Aleaciones ultraligeras	Para moldeo	**Elektrón A2G** **Atesia D**	6	3	0,3	Arena Arena	17 ÷ 21	4 ÷ 5	1,5 ÷ 3	58 ÷ 62	Piezas moldeadas sometidas a esfuerzos continuos, cárter, motores de aviación y motocicletas, para motocarro, etc.
Aleaciones ultraligeras	Para moldeo	**Elektrón AM 503** **Atesia LM**	—	—	1,8 ÷ 2	Arena	8 ÷ 11	—	3	30 ÷ 35	Especialmente resistentes a la corrosión, fácilmente soldables, piezas pequeñas poco cargadas, depósitos para gasolina y aceites.
Aleaciones ultraligeras	Para moldeo	**Elektrón A9V** **Atesia T**	8,5 ÷ 9	0,5 ÷ 1	0,3	Arena Coquilla Presión	16 ÷ 20	4	5	55 ÷ 60	Piezas de aviación muy cargadas, etcétera.
Aleaciones ultraligeras	Para moldeo	**Elektrón A 291** **Atesia P**	9,5	0,6 ÷ 1	0,3	Coquilla Presión	19 ÷ 21	4 ÷ 5	1 ÷ 3	62 ÷ 68	Piezas moldeadas en coquillas para cárter de motocicletas, ruedas de avión, bombas para gasolina, piezas moldeadas a presión, piezas de máquinas de escribir, calculadoras, etc.
Aleaciones ultraligeras	Para moldeo	**Elektrón A 8** **Atesia C**	8	0,5 ÷ 1	0,3	Coquilla Presión	20 ÷ 25	4	1,5 ÷ 4	58 ÷ 62	Piezas sujetas a choques, piezas de aviones.
Aleaciones ultraligeras	Para operaciones plásticas	**Elektrón A2M** **Atesia L**	6	0,5 ÷ 1	0,3	Laminado extruido o estampado	26 ÷ 28	8 ÷ 10	10	58 ÷ 60	Perfiles y chapas para construcciones aeronáuticas.
Aleaciones ultraligeras	Para operaciones plásticas	**Elektrón A 2855** **Atesia C**	7	1	0,2	extruido o estampado	28 ÷ 30	10	8	62 ÷ 65	Piezas fuertemente solicitadas, piezas diversas para aviones.
Aleaciones ultraligeras	Para operaciones plásticas	**Elektrón A 231** **Atesia E**	3	1	0,2	Laminado extruido o estampado	20 ÷ 25	8	8 ÷ 12	52 ÷ 55	Chapas para construcciones ligeras.
Aleaciones ultraligeras	Para operaciones plásticas	**Elektrón AM 503** **Atesia LM**	0,3	0,3	2	Laminado extruido o estampado	20 ÷ 22	5 ÷ 8	1,5 ÷ 5	40 ÷ 42	Perfiles y piezas estampadas soldables, depósitos para aceites y gasolina.

Tabla 266

Metales blancos

(De las tablas UNI 2184 y 2185)

Designación de la calidad del metal blanco	Clase	Composición química								Grafito %	Dureza Brinell Hd 10/250/180			Ensayo de compresión		Temperatura		Contracción lineal %	Peso específico kg/dm³	Empleos característicos
		Sn %	Pb %	Sb %	Cu %	Cd %	Ni %	As %	P %		a 20 °C	a 50 °C	a 100 °C	Carga de rotura kg/mm²	Acortamiento A %	Fusión °C	Colada °C			
MB 0 UNI 2184	Metal blanco al plomo sin estaño	—	79	19	1	—	—	1	—	—	20	—	—	—	—	—	—	—	10,5	Para cojinetes poco cargados
MB 10 UNI 2184	Metal blanco al plomo	10	73,5	15,5	1	—	—	—	—	—	27	—	—	—	—	—	—	—	10	Para cojinetes medianamente cargados.
MB 80 UNI 2184	Metal blanco al estaño	80	2	12	6	—	—	—	—	—	30	—	—	—	—	—	—	—	7,5	Para cojinetes muy cargados en ambiente a temperatura ordinaria.
MB 80 F UNI 2184	Metal blanco al estaño fino	80	—	11	9	—	—	—	—	—	33	—	—	—	—	—	—	—	7,5	Para cojinetes muy cargados en ambiente sobrecalentado.
MB 0 S UNI 2185	Metales antifricción de sustitución	≤ 1	de 77 a 84	de 15,5 a 20	≤ 1,5	—	≤ 1,6	≤ 1,5	—	≤ 0,2	de 17 a 25	de 12 a 20	de 7 a 13	de 11 a 14	de 22 a 42	de 240 a 500	de 380 a 550	de 0,4 a 0,6	de 9,8 a 10,4	
MB 4 S UNI 2185		de 1,5 a 5,3	de 71 a 80	de 14 a 20	≤ 4	≤ 1,5	≤ 1	≤ 0,8	—	≤ 0,2	de 22 a 32	de 14 a 21	de 8 a 16	de 10 a 15	de 25 a 45	de 240 a 450	de 380 a 550	de 0,5 a 0,6	de 9,8 a 10,4	
MB 6 [illegible] 2185	»	de 4,8 a 8,5	de 73 a 80	de 14 a 17	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1	≤ 0,5	≤ 0,2	≤ 0,6	de 24 a 32	de 16 a 21	de 9 a 16	de 5 a 19	de 24 a 38	de 240 a 440	de 380 a 550	de 0,5 a 0,6	de 9,4 a 9,8	
MB 10 S UNI 2185	»	de 8 a 11	de 67 a 83	de 7 a 18	≤ 2,7	≤ 2,7	≤ 1	≤ 1	≤ 0,3	≤ 1	de 25 a 32	de 18 a 26	de 10 a 20	de 8 a 18	de 22 a 32	de 240 a 440	de 380 a 550	de 0,4 a 0,6	de 9,2 a 9,7	
MB 12 S UNI 2185	»	de 10 a 14	de 66 a 78	de 10 a 16	≤ 2	≤ 2,5	≤ 1	≤ 1	≤ 0,3	≤ 1	de 26 a 32	de 19 a 26	de 11 a 20	de 8 a 19	de 22 a 32	de 240 a 440	de 400 a 550	de 0,4 a 0,5	de 9,2 a 9,7	

16. Cinc y sus aleaciones

El cinc, metal de color gris-blanco, brillante, de poca dureza y de peso específico 7,1, fusible a 420° C, frágil a la temperatura ordinaria y a 200° C, se hace dúctil y maleable entre los 100 y 150° C. Se corroe con facilidad por los ácidos, especialmente si tiene impurezas, y también por los álcalis fuertes, pero resiste bien a los agentes atmosféricos, por lo que se emplea en planchas para cubrir edificios, para canalones, etc. Tiene también aplicación como revestimiento del hierro (chapas galvanizadas) para protegerlo de los agentes atmosféricos.

Pero su principal aplicación en la industria mecánica es en forma de aleaciones. Ya hemos tratado extensamente del latón, como aleación de cobre. Las aleaciones cuyo principal constituyente es el cinc, se denominan genéricamente aleaciones **zama**.

Se obtienen estas aleaciones fundiendo cinc ZNA 99,995 UNI 2013, con aluminio ALP 99,5 UNI 3020, cobre CU 99,9 UNI 1704, etc., pero quedando excluidos para la fabricación de las aleaciones los trozos y desperdicios. Se emplean para la producción de piezas moldeadas, fundidas bajo presión, en aplicaciones mecánicas *poco cargadas*, trabajando a temperatura de régimen inferior a 120° C.

Las aleaciones zama tienen un peso específico igual o aproximado a 6,65 kg/dm³, un punto de fusión de 380 a 386° C, contracción del 1,17 %. Resisten bien a los agentes atmosféricos, al agua dulce, a los lubricantes minerales y, si están protegidas por galvanizado, resisten también al agua del mar. Permiten el moldeo de piezas de paredes delgadas, aun las más complicadas, y presentan superficies muy pulidas: se trabajan bien con herramientas, resisten las presiones y se pueden pulimentar.

Las aleaciones unificadas de este tipo (UNI 3718) son tres, como se ve en la tabla 267. Al símbolo de designación indicado en la tabla debe seguir la sigla **UNI** y el número 3718.

Tabla 267

Aleaciones del cinc unificadas

Designación de la calidad de la aleación	Contraseña telegráfica	Composición química característica			Características mecánicas				Ejemplos de aplicaciones
		Zn %	Al %	Cu %	Carga de rotura a tracción R kg/mm²	Alargamiento A %	Dureza Brinell Hd kg/mm²	Resiliencia K kg/mm²	
Gp-ZN AL 4	**Z A 4**	**96**	**4**	**0**	**25 ÷ 28**	**1,5**	**70 ÷ 85**	**2**	Piezas moldeadas de todas clases, que requieran una estabilidad dimensional durante tiempo muy largo.
Gp-ZN AL 4 CU 1	**Z A 4 C 1**	**95**	**4**	**1**	**28 ÷ 31**	**2**	**80 ÷ 90**	**1,5**	Piezas moldeadas de todas clases, sin requisitos especiales.
Gp-ZN AL 4 CU 3	**Z A 4 C 3**	**93**	**4**	**3**	**30 ÷ 33**	**2**	**85 ÷ 100**	**1,5**	Piezas moldeadas a las que se exija gran resistencia al desgaste y a la corrosión intercristalina.

Capítulo V

MATERIAS PLÁSTICAS

17. Generalidades

Las materias plásticas, cuyo uso se ha extendido extraordinariamente estos últimos años en todos los campos de la producción, figuran, en su casi totalidad, entre los compuestos de química orgánica. En efecto, los componentes de las moléculas de estas sustancias son esencialmente: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre, silicio, cloro, flúor.

Sin embargo, entre las moléculas ordinarias de la química orgánica y las de las materias plásticas hay una notable diferencia: mientras que las primeras tienen tamaños variables de una a otra sustancia, pero siempre bien definidos para cada compuesto, las moléculas de las materias plásticas tienen tamaños poco

definidos y muchas veces alcanzan pesos moleculares millares de veces superiores a los de los compuestos que sirven de base para su obtención. Y es precisamente por esta razón que se llaman *macromoléculas* y que se da el nombre de *química de los compuestos macromoleculares* a la rama de la química orgánica que estudia estos compuestos.

Hablando del peso molecular, se debería, en rigor, entender el *peso molecular medio,* por cuanto en un mismo producto se pueden encontrar una al lado de otra moléculas de peso bastante diferente.

Todas estas macromoléculas están formadas generalmente por la repetición más o menos ordenada de grupos iguales, como, por ejemplo, el politeno: $— CH_2 — CH_2 — CH_2 — CH_2 —$. Por este motivo los compuestos de que estamos tratando se conocen con el nombre **de polímeros,** mientras que el grupo que, repitiéndose origina el polímero se denomina *monómero* y la operación de preparación de las materias plásticas recibe el nombre de *polimerización.*

El empleo cada día más extendido de estos productos modernos de la química es debido principalmente al hecho de que el químico puede, dentro de ciertos límites, prever las características de una materia plástica aun antes de prepararla, solamente con la consideración de su posible estructura molecular; y por lo tanto se puede idear un producto que reúna las características adecuadas al objeto que se quiere lograr.

Las materias plásticas, llamadas también *resinas,* se pueden dividir en dos grandes grupos: **termoplásticas** y **termoestables.**

Se llaman **termoplásticas** las resinas que por la acción del calor se ablandan y pueden alcanzar un estado de líquido muy viscoso: son ejemplo de este tipo, muy notables por sus tan conocidas aplicaciones aun en el ramo doméstico, el *cloruro de polivinilo* y el *politeno.*

Se llaman, en cambio, **termoestables** las resinas que, por la acción del calor, se endurecen, adquiriendo una estructura irreversible, y dando por lo tanto productos cuya forma ya no puede modificarse por calentamiento: aumentando éste se podría sólo llegar a su destrucción.

A buena parte de las resinas se les incorpora en el momento del prensado, diversos materiales llamados *de relleno* (retales de tejidos, mica, etc.) que permanecen en el producto acabado, dando a la resina propiedades características.

Hay muchos tipos de resinas de las dos clases indicadas. En la tabla siguiente se hallan los tipos de empleo más corriente, sus características principales y los campos típicos de aplicación (tabla 268).

Las materias plásticas se pueden trabajar mediante las técnicas siguientes:

a) *estampado por presión;*
b) *estampado por inyección;*
c) *estirado;*
d) *calandrado;*
e) *torneado y otros mecanizados.*

Para dar una idea de las inmensas aplicaciones que tienen en los campos que pueden interesar al dibujante, se reproducen algunas fotografías (III, 3-7) de productos de varias clases en materiales plásticos.

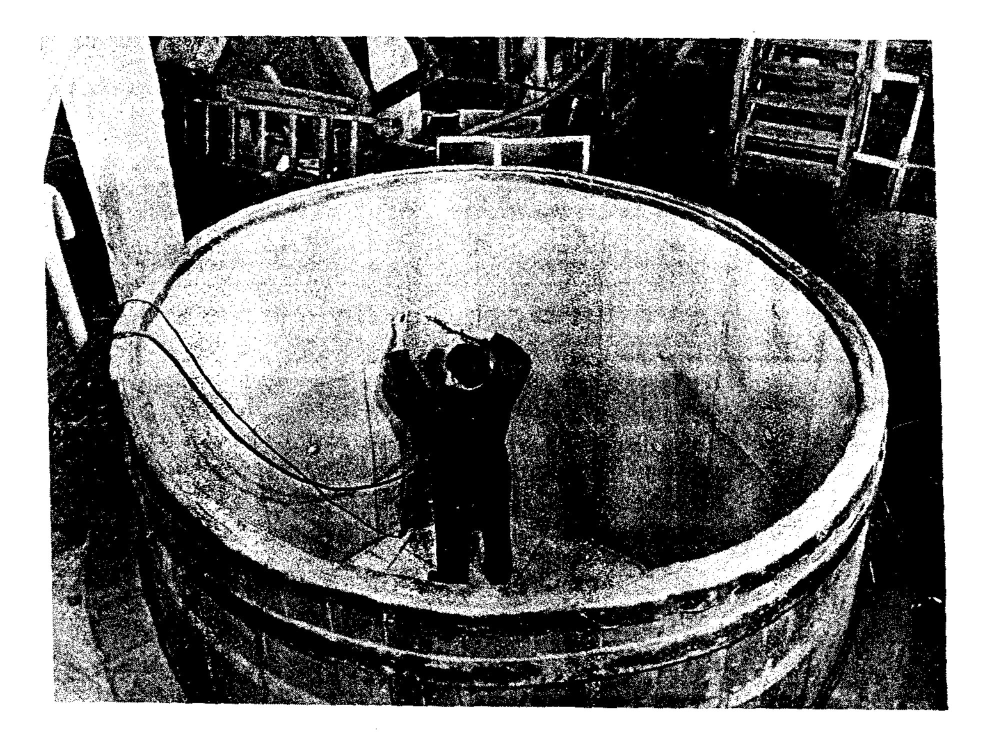


Fig. III, 3. *Gran depósito revestido con hojas de «Vipla» (cloruro de polivinilo) aplicadas mediante un adhesivo y con las uniones soldadas (Montecatini).*

Tabla 268

Cuadro de las materias plásticas de empleo mas corriente

Categoría	Tipo	Soporte	Peso específico medio	Propiedades mecánicas: Resiliencia kgm/cm²	R kg/mm²	A %	R flex. kg/mm²	R compr. kg/mm²	Dureza Rockwell	Aplicaciones
Termoestables	Fenolicas	Serrín de madera	1,3 ÷ 1,4	0,06 ÷ 0,09	4 ÷ 5	—	7 ÷ 9	15 ÷ 20	110 ÷ 117	Empleos generales: piezas de maquinaria, tuberías, mobiliario, faesita, etc.
		Mica	1,7 ÷ 1,9	0,04 ÷ 0,05	2 ÷ 3	—	6,5 ÷ 7,5	20 ÷ 25	102 ÷ 106	Aislantes eléctricos.
		Retales de tejidos de algodón	1,3 ÷ 1,4	0,15 ÷ 0,35	2 ÷ 4	—	6 ÷ 9,5	10 ÷ 15	100 ÷ 105	Piezas estampadas resistentes al choque (ruedas dentadas silenciosas, que no necesitan lubricante).
		Amianto	—	—	—	—	—	—	—	Alas de aeroplano.
	Ureicas	Celulosa	1,49	0,10 ÷ 0,13	6,5 ÷ 7,5	—	10 ÷ 12	20 ÷ 24	100 ÷ 110	Para productos generales.
			1,49	0,12 ÷ 0,14	7,5 ÷ 8	—	11 ÷ 13	20 ÷ 22	110 ÷ 115	Pueden dar productos de color blanco perfecto.
	Melamínicas	Celulosa	1,47 ÷ 1,52	0,07 ÷ 0,10	3,5 ÷ 9	—	7 ÷ 12	17 ÷ 32	118 ÷ 124	**Líquidos:** empleados en tintorería y como auxiliares textiles. **Sólidos:** productos semejantes a los ureicos, pero aún más duros (también laminados plásticos para recubrimientos).
	Poliésteres	Materiales vítreos	1,4 ÷ 1,6	—	9 ÷ 14	—	20 ÷ 35	—	105 ÷ 115	Estampables también en frío, partiendo del estado líquido, con los aditivos convenientes, se obtienen productos de excepcionales características mecánicas, parecidas a las de los metales, pero teniendo peso específico mucho más bajo. Empleados para carrocerías de automóviles, depósitos, embarcaciones, alas de avión, sin aditivos.
		Tejido de vidrio	1,6 ÷ 1,8	—	19 — 25	—	30 ÷ 45	—	110 ÷ 115	
		Papel	1,3 ÷ 1,4	—	7 — 10	—	15 ÷ 25	—	105 ÷ 110	
			1,2 ÷ 1,3	—	—	—	8 ÷ 13	—	105 ÷ 112	
	Poliestireno	—	1,05 ÷ 1,10	0,20 ÷ 0,25	—	—	—	—	30 ÷ 60	Generales.
		—		0,10 ÷ 0,20	—	—	—	—	40 ÷ 60	Resistentes al calor.
		—		0,30 ÷ 0,50	—	—	—	—	~ 80	Resistentes al choque.
Termoplásticas	Polietileno	—	0,92	—	1,2 ÷ 1,3	500 ÷ 520	—	—	—	Huecos.
					1,1 ÷ 1,2	300 ÷ 350	—	—	—	Tubos, películas.
	Clorovinílicas	Varios	1,2 ÷ 1,3	—	2,5 ÷ 7	—	—	—	—	Plastificados. Empleos generales. Propiedades dependientes de los plastificantes.
		—	1,2 ÷ 1,3	—	0,7 ÷ 2,5	80 ÷ 350	9 ÷ 10	7 ÷ 8	90 ÷ 94	Rígidos. Tubos roscables, flexibles y soldables; placas; bombas, revestimientos. **Muy resistentes a los agentes químicos.**
	Poliamídicas (Nylon)	—	1,3	—	4,9 ÷ 8,5	90 ÷ 300	—	—	100 ÷ 118	Fibras textiles, huecos, ruedas dentadas silenciosas, uniones, tuberías, aparatos resistentes a ataques químicos.
	Acrílicas y metacrílicas	—	~ 1,19	—	~ 1,75	—	~ 3,1	~ 2,60	~ 84	Piezas transparentes, lentes, etc
	Fluorocarbónicas (algoflón)	—	2,1 ÷ 2,3	—	2 ÷ 3,5	300 ÷ 500	—	—	—	Juntas y accesorios resistentes a la corrosión y a los saltos de temperatura.
	Silicónicas	Propiedades y características muy variadas. Existen tipos líquidos de poca viscosidad y tipos sólidos, con todos los grados intermedios. Empleos varios desde hidrófugos hasta aceites lubricantes, grasas, juntas, etc.								
Materiales de comparación	Acero Aq 42 UNI 673		7,4	10	42	20 ÷ 24	42	42	—	
	Aluminio crudo		2,7	—	15 ÷ 18	5 ÷ 7	—	—	—	
	Madera (encina)		0,9 ÷ 1	—	9	—	6	4		

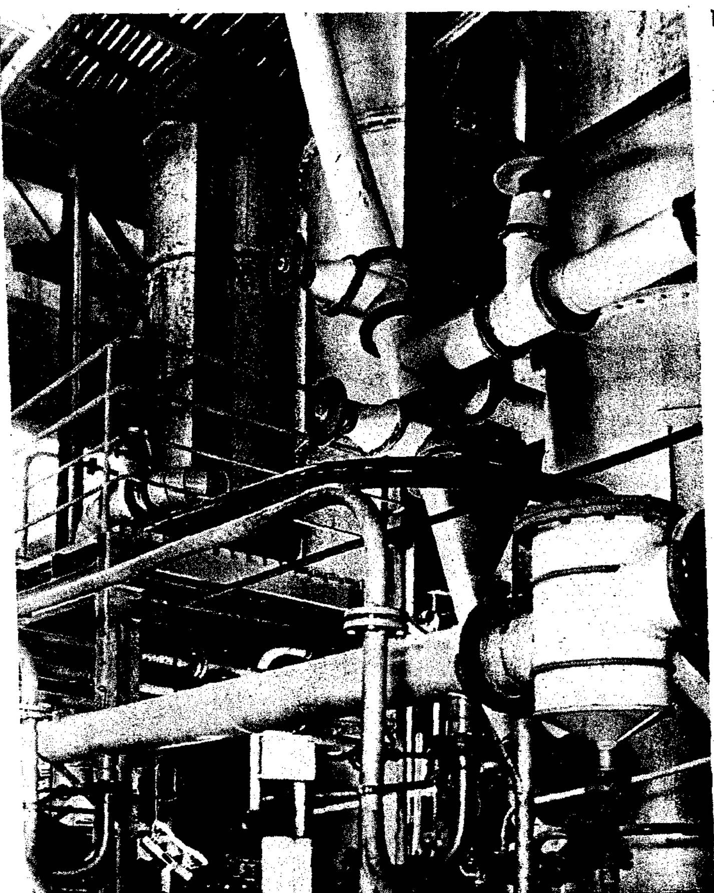


Fig. III, 4. *Industria química con tuberías y aparatos de «Vipla» (cloruro de polivinilo) (Montecatini).*

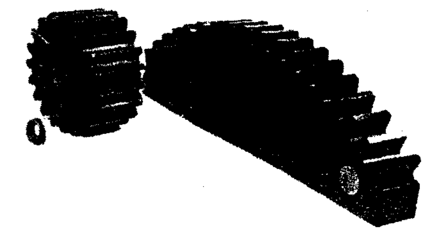


Fig. III, 5. *Engranajes fabricados con plancha de Conevasita (tela baquelizada) (S. p. A. Isola).*

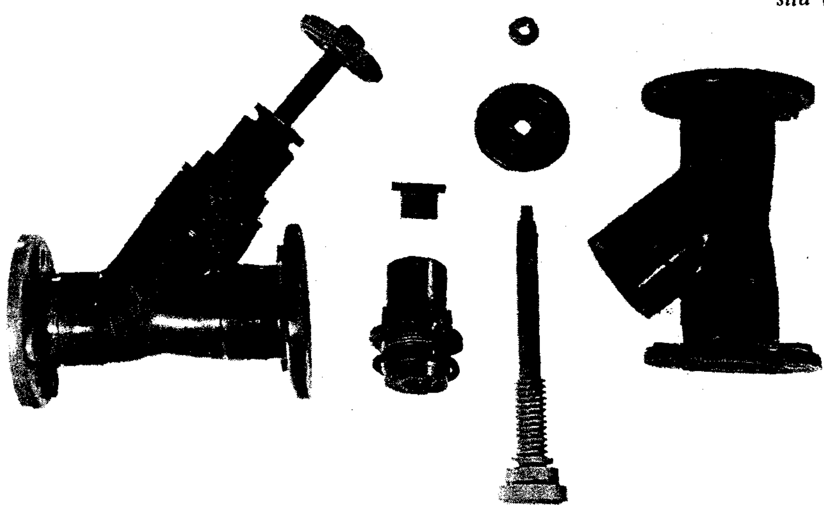


Fig. III, 6. *Válvula completa con bridas y varios accesorios desmontados de «Moplen» (polipropileno) (Montecatini).*

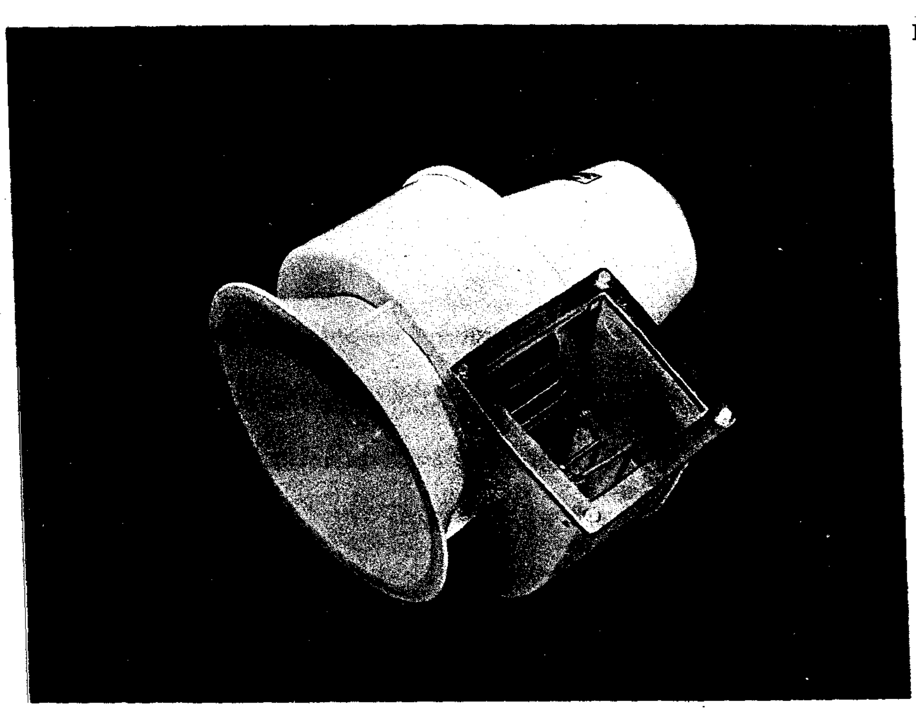


Fig. III, 7. *Aspirador para campana en «Moplen» (polipropileno) (Montecatini).*

Capítulo VI

MADERA Y DERIVADOS

18. Generalidades

Aunque la madera, en las estructuras mecánicas y en las aplicaciones que pueden interesar al dibujante mecánico, tiene hoy día muy poca importancia, por haber sido reemplazada en gran parte por las aleaciones ligeras y las materias plásticas, creemos conveniente que el dibujante tenga una idea de la nomenclatura y de las unificaciones de los materiales leñosos.

Hacemos observar que la madera se diferencia de los materiales considerados hasta ahora, por ser fuertemente anisótropa, es decir que, debido a que su estructura no es homogénea, presenta propiedades de muy diverso valor, según la dirección que se considere. Así, por ejemplo, la madera tiene bastante resistencia a la tracción cuando el esfuerzo se ejerce en la dirección de las fibras, y una resistencia muy baja si la tracción se ejerce en dirección normal a las fibras. Por este motivo tiene gran aplicación la *compensación* de la madera, mediante la cual se obtienen placas que tienen la misma resistencia en cualquier dirección, y que consiste en el encolado de delgadas chapas de madera superpuestas, dispuestas de forma que cada una tenga sus fibras en ángulo recto con las fibras de las dos chapas contiguas.

Casi el mismo objeto tiene la fabricación de los *tableros enlatados.*

Finalmente son también muy empleados los paneles fabricados con fibras leñosas tratadas convenientemente y adheridas entre sí.

El UNI ha publicado hasta hoy las unificaciones siguientes:

UNI 2853 — Nomenclatura de las especies leñosas que vegetan espontáneamente en Italia (16 tablas).

UNI 2854 — Ídem, de las especies exóticas cultivadas en Italia.

UNI 3917 — Nomenclatura comercial de las maderas exóticas de importación.

UNI 3016 — Defectos de las maderas.

En la tabla UNI 3517 se han unificado los nombres correspondientes a las diferentes medidas y formas de la madera aserrada, tanto de coníferas como de latifolias.

En las tablas UNI 3252-3266 se han unificado los ensayos de maderas.

En las tablas UNI 2641-2648 se han unificado los ensayos de paneles de madera compensada (contrachapeados).

En las tablas UNI 769, 770, 771 se han unificado los contrachapeados de abedul, haya y chopo, muy empleados hace algún tiempo en las construcciones aeronáuticas.

En la tabla UNI 4087 se definen las denominaciones de los contrachapeados y de los tableros enlatados, así como de las varias partes de que se componen. En las tablas UNI 4088 y 4089 se hallan las definiciones de los defectos de los contrachapeados y de los tableros enlatados y las indicaciones para la designación.

Por último, en las tablas UNI 2087, 2088 y 2089 se indican los espesores, las medidas y las tolerancias de las placas de aglomerados leñosos y de los paneles de fibras leñosas comprimidos y blandos.

Se pueden incluir también entre los materiales leñosos las planchas de corcho aglomerado, natural y regenerado, unificadas en las tablas UNI 2090-2094.

Dado el escaso interés de estos materiales para el dibujante mecánico, basta haber señalado la existencia de dichas tablas.

APÉNDICE

19. Ensayos de materiales metálicos

Puede ser de utilidad para el dibujante conocer los principales ensayos unificados a que se pueden someter los materiales metálicos. Véase una selección:

Ensayo de tracción: UNI 556-557.
Ensayo de compresión: UNI 558.
Ensayo de flexión: UNI 559.
Ensayo de doblado: UNI 564.
Ensayo de dureza Brinell: UNI 560-561.
Ensayo de dureza Rockwell: UNI 562-563.
Ensayo de dureza Vickers: UNI 1955-1956.
Ensayo de embutido (según Erichsen): UNI 3037.
Ensayo de resiliencia (según Mesnager): UNI 3212.
Ensayo de flexión estática en materiales de deformabilidad limitada: UNI 3219.
Ensayo de deslizamiento viscoso en aceros y aleaciones resistentes a temperaturas elevadas: UNI 3272.
Ensayo de corrosión de los materiales metálicos: UNI 3666.
Ensayo de fatiga (a la temperatura ambiente): UNI 3964.
Ensayo de templabilidad: UNI 3150.
Ensayo de corrosión por inmersión alternada: UNI 4008 y 4009.
Ensayo de alambres de acero: UNI 1474.

Además de los ensayos indicados, a los cuales van especialmente dedicadas las tablas UNI que hemos seleccionado, se hallarán indicaciones sobre los ensayos a que deben someterse los diferentes materiales (por ejemplo, aceros para cementar, aceros para bonificar, etc.) en las tablas UNI correspondientes a dichos materiales.

EJEMPLOS DE LOS MATERIALES METÁLICOS EMPLEADOS EN LA FABRICACIÓN DE PIEZAS MECÁNICAS

Accesorios bruñidos B ZN 8 UNI 1968 (panes)
B ZN 8 UNI 1701 (lingotes)

Agujas de engrasadores A 00 UNI 673

Alambres delgados para telas metálicas B 6 UNI 2527
para resortes de bronce B 6 UNI 2527
para resortes de bronce P CU AL 5 UNI 2527
para recubrimiento de flexibles B 02 UNI 2527
para zunchado de motores eléctricos P CU AL 4 UNI 2512
para industrias químicas P CU AL 4 UNI 2512
de bronce para usos diversos P CU AL 4 UNI 2512
telefónicos estañados B 02 UNI 2527

Almazara GB 3 (**n. u.**)
X 120 M 12 UNI 3160

Anclaje marino Aq 45 UNI 3158

Anclas de navíos Aq 38 UNI 3158

Anillo de ajuste micrométrico 52 SC 5 UNI 3545
(moleteado) 12 F 1 UNI S 114

Anillos colectores de máquinas eléctricas
B ZN 2 UNI 1692 (panes)
B ZN 2 UNI 1701 (lingotes)

Anillos de apoyo Aq 50 UNI 743

Anillos distanciadores A 37 UNI 743

Anillos elásticos B 8 UNI 743
(de blocaje) C 72 UNI 3545

Anillos recogedores de aceite de los soportes
(en dos piezas) GM 35 UNI 3779

Antenas televisores P AL SI O 4 MG UNI 3569

Antifricción para cojinetes
poco cargados MB 0 UNI 2184
(si la velocidad es baja) MB OS UNI 2185
moderadamente cargados MB 10 UNI 2184
(velocidad baja) MB 4 S UNI 2184
(velocidad mediana) MB 6 S UNI 2184
muy cargados MB 80 UNI 2184
muy cargados y en ambiente cálido MB 80 F UNI 2184

Antifricción para revestimiento de cojinetes corrientes, para velocidad mediana BS PB 30 UNI 1701 (lingotes)

Aparatos de medida (accesorios varios) GP ZN - AL 4 CU 1 UNI 3718

Aparatos electrotécnicos (partes de bronce) B 8 UNI 2527

Aparatos hidráulicos (para presiones elevadas)
B 14 UNI 1498 (panes)
B 14 UNI 1701 (lingotes)

Aparatos diversos de latón OT 63 UNI 2012

Arandelas elásticas C 72 UNI 3545
C 85 UNI 3545

Arandelas para tuercas A 00 UNI 743

Árbol acodado con contrapesos C 40 UNI 2954

Árbol de distribución 12 NC 3 UNI 2953
(Diesel 120 CV, 1850 rpm.) 32 NC 12 UNI 2954
(para cementar) G 15 UNI 2953
(motor automóvil) 35 NC 9 UNI 2954
(muy cargado) 40 NCD 7 UNI 2954

Árbol de fricción 35 MS 5 UNI 2954

Árbol de reductor C 20 UNI 2954
(indeformable al temple) 15 CND 3 UNI 2953

Árboles (indeformables al temple) 18 NC 16 UNI 2953
(muy veloces) 18 NC 13 UNI 2953

Árboles acodados o cigüeñales 40 NCD 7 UNI 2954
48 S 5 UNI 3345
35 NC 5 UNI 2954
18 NC 13 UNI 2953
(indeformables al temple) 15 NC 11 UNI 2953 (para moto)
38 NCD 4 UNI 2954
(soldados) 32 CD 4 UNI 2954
(muy cargados) 30 NCD 12 UNI 2954
(poco cargados) 35 CM 4 UNI 2954
para Diesel rápido GS 30 (**n. u.**)
para Diesel lento 40 C 4 UNI 2954
35 MC 4 UNI 2954
35 NCD 7 UNI 2954
para automóvil (35 CV, 4500 rpm.) 35 NC 9 UNI 2954
para scooter 35 NC 9 UNI 2954
para avión (900 CV, 2400 rpm.) 30 NCD 12 UNI 2954

Árboles acodados para compresores, o para motores de combustión interna:
Fundición meheanita GM; GA; GAH (**n. u.**)
GS 31 (**n. u.**); GS 30 (**n. u.**)

Árboles de levas (poco cargados) C 10 UNI 2953
(más cargados) C 15 UNI 2953
(de fundición meheanita) GAH (**n. u.**)

Árboles de perfil acanalado 19 CN 5 UNI 2953

Árboles de torsión 30 NCD 12 UNI 2953
52 SCN 5 UNI 3545

Árboles de transmisión con extremos mecanizados C 40 UNI 2954

Árboles de transmisión ordinarios Aq 42 UNI 673

Árboles para motores eléctricos (pequeños) 18 NC 13 UNI 2953
(grandes) C 20 UNI 2954

Árboles portahélices (camisas) B ZN 7 UNI 1701

Árboles soldables (poco cargados) 25 CD 4 UNI 2954

Armas (piezas diversas) C 40 UNI 2954

Aros de cojinetes de rodamiento 100 C 6 UNI 3097
(con más penetración de temple) 100 CM 4 UNI 3097
(resistentes al calor y a la corrosión) X 110 CN 17 UNI 3097

Aros elásticos P CU AL S I UNI 2512
P CU AL S II UNI 2512
P CU AL S III UNI 2512
P CU AL S IV UNI 2512

Arrufos (cerchas) **avión** P AL CU 4,4 SI MN MG UNI 3581

Asientos de válvulas de motores de combustión interna
(temperatura $\leq 650°$ C) P CU AL 9 UNI 2512
P CU AL S I (S II, S III, S IV) UNI 2512

Automóviles Piezas diversas de
fundición GM B 40 UNI 3779

Balancín de motores (soldado) C 16 UNI S 116
(estampado) Aq 45 UNI 671
(avión) 19 NC 5 UNI 2953
muy cargado (avión) 30 NCD 12 UNI 2954

Barra de timón marino GA AL MG 5 UNI 3058 (Hidronalio 5)

Barras de torsión 52 SCN 5 UNI 3545

Barrenas para madera UC 85 UNI 2955

Bastidor de soporte soldado A 34 UNI 815
extremos de bancada A 37 UNI 745
para prensa fundición meheanita GC (**n. u.**)

Bicicletas (piezas diversas de fundición) GM B 35 UNI 3779

Bielas para locomotora C 40 UNI 2954

Bielas *(de acero)*
poco cargadas C 30 UNI 2954
más cargadas C 50 UNI 2954

moderadamente cargadas, sujetas 35 NC 5 UNI 2954
a choques 35 NC 9 UNI 2954
para motores rápidos 38 NCD 4 UNI 2954
soldadas 32 CD 4 UNI 2954
40 C 4 UNI 2954
normales para automóvil 30 NCD 12 UNI 2954
para scooter 18 NC 13 UNI 2953
con cabeza de rodillos 18 NC 13 UNI 2953
para motor de camión 35 NC 9 UNI 2954
32 NC 12 UNI 2954
35 NCD 4 UNI 2954
madre 30 NCD 12 UNI 2954
(de aleación ligera) P AL CU 4,5 MG MN UNI 3583
P AL CU 3,5 FE MG NI UNI 3578
P AL CU 4 MG MN UNI 3579

Bieletas 40 C 4 UNI 2954

Bloques motores (de aleación ligera) G AL SI 4,5 MN MG UNI 3045

Bolas para cojinetes 100 C UNI 3097
con más penetración de temple, 100 CM 4 UNI 3097
resistentes al calor y a la corrosión X 110 CN 17 UNI 3097

Bombas
(cuerpos) G AL SI 4,5 MN MG UNI 3054
(cuerpo de aleación de Al) G AL SI 4,5 MN MG UNI 3054
(pequeña, de refrigeración) G AL SI 9 MN MG UNI 3051
ventilador B 12 UNI 1698
para dragas (de fundición) G B 1 (**n. u.**)
resistentes ácidos (excluidos,
nítrico y clorhídrico) C B 3 (**n. u.**)
resistente álcalis K C
(con poca dilatación) fundición esferoidal NI-resist. D 3

Botellas para gas Aq 35 UNI 663

Bridas ordinarias para tuberías A 00 UNI 815
soldadas A 34 UNI 815
A 00 UNI 673
A 37 UNI 673
Aq 42 UNI 673
de acero para tubos de cobre Aq 42 UNI 673
dentadas (para acoplamiento) C 40 UNI 2954
para unión rígida para árboles deslizantes C 50 UNI 2954
con muescas para uniones B ZN 8 UNI 1701
B ZN 2 UNI 1701

Brocas U 100 CM UNI 2955
U 85 MV 8 UNI 2955

Bulones 12 NC 3 UNI 2953
15 NC 11 UNI 2953
indeformables al temple 18 NC 16 UNI 2953
para pistones poco cargados C 10 UNI 2953
medianamente cargados C 15 UNI 2953

Buriles U 115 W UNI 2955

Cadenas tipo Galle C 40 UNI 2954
tipo Zobel C 30 UNI 2954 (plaquitas)
C 15 UNI 2953 (rodillos)
C 20 UNI 2954 (pasadores)

Cadenas para hornos continuos de tratamiento
X 25 CN 2420 UNI 3159

Caja barro G 18 UNI 668

Cajas automóvil (cambio, etc.) GMB 45 UNI 668
G AL SI 90 MN MG UNI 3051

Cajas porta-rodillos de acoplamientos 100 C 6 UNI 3097

Cajitas para cementar y recoger X 25 CN 2420 UNI 3159

Calibres (tapón) U 85 MV 9 UNI 2955
U X 200 C 13 UNI 2955
U 100 CM 4 UNI 2955
roscado U 115 W UNI 2955

Camisas de árboles B ZN 4 UNI 1701
de árboles portahélices B ZN 7 UNI 1701

Camisas para motores (fundición meheanita) GM (**n. u.**)
(fundición pequeñas) GD (**n. u.**)

Carcasas de motores eléctricos, soldadas C 16 UNI S 116

Carcasas en general, no cargadas, con partes para mecanizar
G AL CU 8 UNI 3043

Cardan (uniones) 55 NC 5 UNI 2954
grandes 40 NCD 7 UNI 2954
pequeñas 40 C 4 UNI 2954
poco cargadas 35 M 35 UNI 2954
pesadas (horquilla) 35 MS 5 UNI 2954
(cruz) 15 NC 11 UNI 2953

Carrocerías auto-ferro-tranviarias P AL MG 2,5 UNI 3574
P AL SI 1 MG-MN UNI 3571

Carter de motores G AL CU 3 FE MG NI UNI 3046
de explosión G AL CU 4,5 UNI 3044
G AL SI 13 UNI 3047
G AL SI 13 CU MN UNI 3048
G AL CU 4,5 UNI 3044
G AL CU 3 FE MG NI UNI 3046
G AL SI 13 UNI 3047
de protección sencilla A 00 UNI 2633
de reductor G 22 UNI 668

Casquillos
de ajuste Aq 50 UNI 743
B 14 UNI 1698
roscados Aq 30 UNI 743
para cojinetes G 26 UNI 668
para soportes G CU AL 9 UNI 2511
G CU AL SI UNI 2511
para bielas B 20 UNI 1701
B 14 UNI 1698
elásticos de freno para micrómetros 52 SC 5 UNI S 119

Casquillos de soportes G 22 UNI 668
de cojinetes G 18 UNI 668

Ciclos (piezas de aleación ligera) P AL CU 4 MG MN UNI 3579

Cierres metálicos P AL MG 2,5 UNI 3574
P AL SI 1 MG UNI 3571
(autorizados) P AL SI 0,4 MG UNI 3369

Cilindros para industrias metalúrgicas, de caucho, papel, fundición meheanita GAH; GB (**n. u.**)
laminador en caliente C 40 UNI 2954
en frío, diámetro pequeños 100 C 6 UNI 3097
y medianos 100 CM 4 UNI 3097
laminador (en frío) grandes X 200 C 13 UNI 3160
fundición meheanita WEC (**n. u.**)
para papel, fundición esferoidal D 3
Aq 65 UNI 663
motores refrigerados por agua G AL SI 70 UNI 3599
motores para motores C 30 UNI 2954
motores para compresores G 26 UNI 668
motores automóvil y compresores GS 10 (**n. u.**)
pequeños motores G AL CU 10 FE MG UNI 3041
(cañones) GS 12 (**n. u.**)
cañones centrifugados GS 13 (**n. u.**)

Cilindros de motor GS 11 (**n. u.**)
motocicleta GS 12 (**n. u.**)
GS 10 (**n. u.**)
motocicleta desde 500 cc G 26 UNI 668
aviación 42 CAD UNI 3096
30 CD UNI 3096 (refrigerados aire)
motocicletas (culatas) GS 26 (**n. u.**)
Diesel (culata) Aq 52 UNI 3158

Cinceles UC 100 UNI 2955

Clavijas para uniones elásticas de clavijas Aq 42 UNI 743

Cojinetes (revestimiento) BS PB 30 UNI 1701
(para bielas avión) BS PB 15 UNI 1701
(para bielas locomotora) B 14 UNI 1698 (v. Antifricción)
(casquillo) B 14 UNI 1699
G 22 UNI 668

Cojinetes de rodamiento 100 C 6 UNI 3097
con más penetración del temple 100 CM 4 UNI 3097
resistentes al calor y a la corrosión X 110 CN 17 UNI 3097
medianamente cargados B PB 12 UNI 3097
G CU AL 9 UNI 2511
con buena lubricación, funcionando hasta 80-90° C (motores eléctricos) B PB 4 UNI 1701
medianamente cargados, sin tornillos BS PB 20 UNI 1011
para altas presiones superficiales B PB 12 UNI 1707
para velocidades y cargas elevadas BS PB 15 UNI 1701
muy cargados BS PB 8 UNI 1701
BS PB 7 UNI 1701
sin revestimientos, fuertemente cargados B 14 UNI 1701
de empuje (sectores) B 20 UNI 1701
para máquinas eléctricas B PB 4 UNI 1701
muy cargados B 14 UNI 1701 (moldeados)
B ZN 6 UNI 1701 (moldeados)
de fundición G 26 UNI 668

Cojinetes para gorrones de base B 20 UNI 1698 (panes)
1701 (lingotes)
para laminadores en caliente B PB 4 UNI 1701
para laminadores en frío B PB 12 UNI 1701

Colector de admisión motores de aviación GS AL SI 13 UNI 3047

Colector de admisión motores de explosión G 26 UNI 668
G 22 UNI 668

Colectores (tubos) Aq 45 UNI 663
(de máquinas eléctricas) B 7 UNI 2527

Columnitas de soporte disco rueda de suspensión de camión 35 NC 9 UNI 2954

Comprobadores para calibres U 115 W UNI 2955

Conductores eléctricos de aluminio P ALP 99,5 UNI 3566

Conductos de gran sección, soldados Aq 34 UNI 815
para guijo (fundición meheanita) WB

Contadores para líquidos (partes de bronce) B 8 UNI 2953

Coronas cónicas moderadamente cargadas
de pequeño tamaño 14 CN 5 UNI 2953
de tamaño mediano 19 CN 5 UNI 2953
indeformables al temple 18 NC 16 UNI 2953

Coronas de diferenciales 15 NC 5 UNI 2953
indeformables al temple 15 NC 11 UNI 2953

Coronas dentadas 35 MS 5 UNI 2954
35 CM 4 UNI 2954
A 45 UNI 3158
P CU AL S (I, II, III, IV) UNI 2512
para reductores de tornillo sin fin G CU AL S 12 UNI 2511
tenaces aun para cargas elevadas 35 NCD 15 UNI 2954
grandes, para locomotoras 35 NCD 7 UNI 2954

Crisoles (hasta 1100° C) X 25 CN 2420 UNI 3159
(hasta 1200° C, en ambiente corrosivo de SO_2) X 45 CN 28 UNI 3159
para industrias químicas X 10 CN 188 UNI 3161
X 20 CN 2412 UNI 3161

Cruces de uniones Cardan 35 MS UNI 2954
pequeñas 40 C 4 UNI 2954
pesadas 15 NC 11 UNI 2953

Crucetas (patines no revestidos) G 26 UNI 668
(patines revestidos) Aq 45 UNI 3158
(patines giratorios) Aq 45 UNI 3158
(metal antifricción) B 14 UNI 1701 (con fósforo)

Cubo de ruedas delanteras de camión GMB 45 UNI 3779

Cubo de ruedas, tambores, etc. (moldeado) C 40 UNI 2954

Cubo dentado para uniones C 40 UNI 2954

Cubo inferior del gorrón para manguetas articuladas 35 CM 4 UNI S 114

Cubo para hélice de avión
(1700 rpm., 1200 CV) 30 NCD 12 UNI 2954
40 NCD 7 UNI 2954

Cubos poco cargados C 10 UNI 2953
C 15 UNI 2953
más cargados C 30 UNI 2954
automóvil GMB 40 UNI 3779

Cuchillas de cizalla trabajando en caliente U 40 WC 20 UNI 2955
trabajando en frío UC 100 UNI 2955
C 60 UNI 2954
52 SCN 5 UNI 3545

Cuchillas para chapas al silicio UX 200 C 13 UNI 2955
para cizalla UC 85 UNI 2955
(hierros para) U 100 CM 4 UNI 2955

Cuchillos mezcladores
(resistentes al desgaste) fundición meheanita WA (n. u.)
(para arcillas y arenas) fundición meheanita WB (n. u.)

Cuerda armónica (de 0,3 a 2 mm) C 98 UNI 3545

Cuerpos cilíndricos (tubos) Aq 45 UNI 663
(de calderas) Aq 55 UNI 663

Cuerpos de bieleta 35 NC 9 UNI 2954

Cúpulas para hornos fundición meheanita GC
para recalentadores fundición meheanita HA

Chapa de acero especial para calderas de vapor de acero UNI 3965

Chapa de latón OT 67 UNI 2012
OT 80 UNI 2012
OT 85 UNI 2012
OT 90 UNI 2012

Chapas resistentes a las soluciones tánicas B 02 UNI 2527

Chavetas de acoplamiento Aq 42 UNI 743
Aq 50 UNI 743
C 40 UNI 2954
C 55 UNI 2954
(forjadas) Aq 60 UNI 673
Aq 70 UNI 673

Depósito (resistente ácidos, excluidos nítrico y clorhídrico) X 17 CN 188 UNI 3161

Descarga de condensador (cuerpo) G 22 UNI 668
(válvula) B ZN 4 UNI 1701

Disco para tratamiento carbones: fundición meheanita WB
de acoplamiento por clavijas con goma G 22 UNI 668
G 26 UNI 668
de fricción G 22 UNI 668
de fricción con ferodo C 20 UNI 2954
para engranaje elástico (de compresor centrífugo) 15 NC 11 UNI 2953
conducido de fricción automóvil 35 NC 9 UNI 2954
conductor para accionamiento por masas centrífugas 35 NCD 15 UNI 2954
para corona de reductor Aq 48 UNI 3158
portazapatas de freno de automóviles de carreras Gq MG AL 3,5 ZN (n. u.) (Elektron AF)

Draga (pieza excavadora) X 120 M 12 UNI 3160
fundición meheanita super WH (n. u.)
fundición meheanita super WBC (n. u.)

Ejes (para forjar) Aq 50 UNI 673
delanteros C 40 UNI 2954
de automóvil C 15 UNI 2953
C 20 UNI 2954
(de recambio) 35 NCD 15 UNI 2954
muy cargados 35 NC 9 UNI 2954

Ejes motores (muy cargados) 40 C 4 UNI 2954
35 NC 9 UNI 2954
38 CD 4 UNI 2954

Embalajes de extrusión y embutidos P ALP 99,0 UNI 3567
(productos farmacéuticos y alimenticios) P ALP 99,5 UNI 3566

Émbolo (de máquina de vapor)
(todo, o capa o aros) G 26 UNI 668
(todo o cuerpo) A 45 UNI 668
(véase: **Pistón**)

Empalmes de aspiración
para compresor avión GS AL SI 13 UNI 3047 (Silumin)

Empalmes de enchufe para tuberías
asiento cónico OT 60 UNI 2012
OTS 58 UNI 2012
asiento plano A 37 UNI 743
para tubo flexible OT 63 UNI 2012
bifurcaciones Aq 42 UNI 673
B ZN 7 UNI 1701

Empalmes tuberías
de fundición G MN 36; G MN 37
G MN 45 UNI 3779
resistentes a los agentes químicos corrosivos X 17 CN 188 UNI 3161
de latón OT 63; OT 67 UNI 1696
OTS UNI 1696

Engranajes de calidad
sometidos a choques 19 NCD 4 UNI 2953
sometidos de mayor tamaño 17 NCD 7 UNI 2953
de gran tamaño 15 NC 5 UNI 2953
muy cargados 18 NC 16 UNI 2953
cargados dinámicamente y por fatiga 30 NCD 12 UNI 2954
indeformables al temple 15 CND 3 UNI 2953
resistentes al desgaste 35 MS 5 UNI 2954
cónicos para diferencial de camión o piñones gleason y varios 18 NC 16 UNI 2953
marcha atrás automóvil 14 CN 5 UNI 2953
19 CN 5 UNI 2953
de cambio marchas automóvil 18 NC 13 UNI 2953
de dientes helicoidales 15 NC 11 UNI 2953
para bombas de engranajes 15 NC 11 UNI 2953
arranque motocicletas 15 NC 11 UNI 2953
de accionamiento por fricción centrífuga 15 NC 11 UNI 2953
cónicos para reductores de gran potencia y velocidad 19 CN 5 UNI 2953
para reductores de dientes helicoidales 40 C 4 UNI 2954
muy cargados, para motores de automóvil y reductores GS 32 **(n. u.)**
de bronce, sometidos a fuerte rozamiento y desgaste GS 38 **(n. u.)**
B 14 UNI 1701

Engranajes de fundición G 22 UNI 668
GS 12 **(n. u.)**
fundición meheanite WA, WAH
(pequeños engranajes sin mecanizar) fundición meheanite WEC
para grandes velocidades fundición meheanite GA
para velocidades medianas fundición meheanite GB

Engranajes forjados Aq 50 UNI 673
Aq 60 UNI 673
Aq 70 UNI 673
poco cargados C 10 UNI 2953
C 30 UNI 2954
C 40 UNI 2954
muy duros C 50 UNI 2954
C 60 UNI 2954

Engranajes helicoidales G CU AL S I UNI 2511
G CU AL S II UNI 2511

Engrasadores de mecha B ZN 8 UNI 1701
de gota visible, piezas varias OT 63 UNI 1694
aguja A 00 UNI 673

Engrasadores roscados OT 63 UNI 1696
con obturador de bola OT 58 UNI 2012

Escariadores U 115 W UNI 2955

Estampas (en general) C 40 UNI 2954
C 60 UNI 2954
grandes y medianas con elevada resistencia R $\leq$ 150 kg/mm² U 42 NCD 167 UNI 2955
con menos resistencia R $\leq$ 120 kg/mm² U 52 NCD 6 UNI 2955
de fundición meheanita GM; GAH; WA **(n. u.)**
cortantes UC 100 UNI 2955
para bisutería UC 100 UNI 2955
para desbarbar en caliente U 40 WB 20 UNI 2955
para ladrillos fundición meheanite WB

Eslabones de cadenas para hornos continuos de tratamientos X 25 CN 2420 UNI 3159

Eslabones de cadenas de oruga 40 C 4 UNI 2954

Espárragos Aq 42 UNI 743

Estructuras aeronáuticas
(soldadas, fuertemente cargadas) 25 MC 6 UNI 2954
de fuerza P AL CU 4,5 MG MN plac. UNI 3584
P AL CU 4,4 SI MN MG plac. UNI 3582

Estructuras soldadas (de tubos y chapas de acero) Aceros especiales S 116

Excavadora pala excavadora X 120 M 12 UNI 3160

Excéntricas 100 C 6 UNI 3097
de collar G 26 UNI 668

Fresas UX 82 WD 65
UX 82 DW 9

Fricción de automóvil
disco conducido 35 NC 9 UNI 2954
disco con ferodo C 20 UNI 2954
disco sobre el cubo A 42 UNI 2633
disco de presión: fundición esferoidal perlítica,
tapa Aq 42 UNI 2633

Ganchos de tracción poco cargados Aq 34 UNI 743
más cargados Aq 42 UNI 673
bastante cargados Aq 60 UNI 673
muy cargados C 30 UNI 2954
para grúas Aq 37 UNI 673

Gasógenos
partes expuestas hasta 1200° C C X 25 CN 1533 UNI 3159
partes expuestas hasta 725° C C fun. meheanita HB (n. u.)

Grifería OT 63 UNI 1696

Grifos con macho
cuerpo OT 60 UNI 2012
macho OTS 58 UNI 2012
para industria química X 10 CN 188 UNI 3161
X 10 CNT 188 UNI 3161

Guías (de bronce) B 14 UNI 1698 (panes); 1701 (moldeadas)
para laminador: fundición meheanita HA **(n. u.)**
para calandras: fundición meheanita WB **(n. u.)**

Hélices marinas OTS 1 UNI 1696 (o 2012 cálculos)
OTS 2 UNI 1696
OTS 3 UNI 1696
Metal Delta
de aviación P AL CU 4,4 SI MG UNI 3581
Superavión **(n. u.)**

Herramientas agrícolas C 50 UNI 2954
C 60 UNI 2954

Herramientas de carpintero U C 85 UNI 2012

Herramientas para mecanizados a gran velocidad de metales duros
(excluidos golpes)
(menos tenaces) UX 80 WK 1910 UNI 2955
UX 80 WK 185 UNI 2955
(más tenaces) UX 80 WV 18 UNI 2955
(con golpes) UX 75 W 18 UNI 2955
(menos tenaces) UX 82 WD 65 UNI 2955
UX 82 DW 9 UNI 2955
(más tenaces) U 52 WC 20 UNI 2955
UX 200 C 13 UNI 2955
UX 150 CD 12 UNI 2955
para cepilladoras UX 82 WD 65 UNI 2955
UX 82 DW 9 UNI 2955
para usos corrientes UX 90 W 8 UNI 2955
indeformables al temple U 100 CM 4 UNI 2955
U 85 MV 8 UNI 2955
para rayar limas U 100 WC UNI 2955
de forma especial y para roscar U 100 WC UNI 2955
para recalcar en frío U 52 WC 20 UNI 2955
para desbarbar U 52 WC 20 UNI 2955
para desagrietar U C 110 UNI 2955
U 52 WC 20 UNI 2955
para madera C 40 UNI 2954
C 60 UNI 2954

Hervidores (a presión) Aq 34 UNI 2633
Aq 42 UNI 2633
Aq 48 UNI 2633
Aq 53 UNI 2633
Aq 60 UNI 2633
Aq 70 UNI 2633

Hileras UX 200 C 13 UNI 2955
U 100 CM 4 UNI 2955
U 85 MV 8 UNI 2955

Hogares partes expuestas hasta 950° C X 25 CN 2412 UNI 3159

Hornos de cracking X 25 CN 2412 UNI 3159
rotativos para cemento y tostación X 25 C 26 UNI 3160
para industria química X 10 CN 188 UNI 3161
partes hasta 725° C fundición meheanita HB (n. u.)
partes hasta 900° C fundición meheanita SC (n. u.)
para coque (puertas y revestimientos)
fundición meheanita HE (n. u.)

Horquilla oscilante de suspensión Aq 42 UNI 815

Horquillas de uniones Cardan
normales 35 SM 5 UNI 2954
moderadamente cargadas Aq 42 UNI 673
pequeñas 40 C 4 UNI 2954
de latón OTS 58 UNI 1696

Husos para hilatura 100 C 6 UNI 3097

Jaulas para cojinetes de rodamiento
de bolas C 40 UNI 2954
de rodillos cilíndricos Aq 34 UNI 815
de rodillos cónicos OT 58 UNI 2012

Juntas bruñidas B ZN 8 UNI 1701

Juntas para válvulas calibradas OT 58 UNI 2012

Laminados en caliente de acero UNI 743

Lengüetas (de acoplamiento) Aq 60 UNI 743
C 50 UNI 2954
(redondas) C 40 UNI 2954

Levas (fundición meheanita) WA
WEC (en coquilla)

Lingotera

Llantas de ruedas de ferrocarril Aq 70 UNI 743
C 40 UNI 2954

Llaves fijas ordinarias Aq 45 UNI 663
especiales C 40 UNI 2954
de tubo Aq 45 UNI 663
estrelladas 38 NCD UNI 2954
de dollas 40 C 4 UNI 2954
de pata C 40 UNI 2954
de diente C 40 UNI 2954
de moleta (cuerpo, mandíbula, etc.) C 40 UNI 2954
(moleta) C 10 UNI 2954

Machos UC 110 UNI 2955
U 115 W UNI 2955
U 100 CM 4 UNI 2955
U 85 MV 8 UNI 2955

Mandíbulas resistentes al desgaste
(en coquilla) fundición meheanita WEC (n. u.)

Mandril de esmerilar U 115 UNI 2955

Mangueta articulada (suspensión camiones) 35 CM 4 UNI 2954
(pasador) 15 NC 11 UNI 2953

Manguitos (poco cargados) C 10 UNI 2953
C 15 UNI 2953
(muy cargados) 12 NC 3 UNI 2953

Manguitos de revestimiento B 6 UNI 2527
B 2 UNI 2527

Manijas A 37 UNI 743

Manivela muy cargada 35 NCD 7 UNI 2954
40 NCD 7 UNI 2954

Maquinaria agrícola (piezas diversas) GMB 40 UNI 3779

Maquinaria textil (piezas diversas) GMN 45 UNI 3779

Máquinas para fábricas de cemento, ladrillos, abrasivos, etc, (partes en contacto con materiales abrasivos): fundición meheanita WBC (n. u.)

Máquinas sopladoras de arena (planos y rodetes) fundición meheanita super WH (n. u.)

Marcos de hornos de recocer X 25 CN 2412 UNI 3159

Mármoles de comprobación fundición meheanita GC

Martillos para forja UC 70 UNI 2955

Masas centrífugas
(para accionamiento por masas centrífugas) P CU AL 9 UNI 2512

casquetes para reguladores de fuerza centrífuga 100 C 6 UNI 3097

Matrices en general UX 35 CD 5 (hasta 630° C)
UC 100 UNI 2955
UC 110 UNI 2955
para estirar UC 110 UNI 2955
fundición meheanita GAH (n. u.)

Matrices para estampas UX 28 W 9 (hasta 650° C)

Mazos de martinete 35 NCD 15 UNI 2954

Micrómetros cuerpo C 40 UNI 2954
apoyo U 115 UNI 2955
tambor A 55 UNI 663
vástago con rosca U X 200 C 13 UNI 2955

Moldeados de acero
sin características especiales, para cargas medianas (por orden de resistencia) A 00 UNI 3158
A 38 UNI 3158
A 45 UNI 3158
A 52 UNI 3158

sometidos a golpes moderados, o empleados en estructuras con mayor solicitación que los anteriores Aq 38 UNI 3158
Aq 45 UNI 3158
Aq 52 UNI 3158

piezas moldeadas expuestas a temperaturas
$\leq$ 750° C: X 25 C 13 UNI 3159
$\leq$ 950° C: X 25 CN 2412 UNI 3159
$\leq$ 1100° C: X 25 CN 2420 UNI 3159
$\leq$ 1200° C: X 25 CN 1533 UNI 3159
$\leq$ 1200° C
y a gas corrosivo (SO_2): X 25 CN 28 UNI 3159

Moldeados de aleaciones de aluminio
para uso general, moderadamente mecanizables G AL SI 8,5 UNI 3601
para emplear en bruto, pero muy mecanizables G AL SI 5,5 UNI 5052
de gran resistencia a la tracción, moderadamente mecanizables en caliente G AL CU 10 FE-MG UNI 3041
ídem, muy mecanizable G AL CU 4,5 UNI 3044
buena dureza y resistencia al desgaste, muy mecanizable y con buena resistencia a presión G AL CU 10 NI-SI-MG UNI 3042
no cargados, con partes para mecanizar G AL CU 8 UNI 3043
cargados en caliente, bastante mecanizables, con moderada resistencia a presión G AL CU 4 UNI 3045
como los anteriores, pero muy cargados en caliente G AL CU 3 UNI 3046
de paredes delgadas (para paredes gruesas con adición de sodio metálico o sales especiales) G AL SI 13 UNI 3047
buena resistencia mecánica y con partes delgadas poco cargadas G AL SI 13 CU-MN UNI 3048
complicados y cargados, con buena colabilidad G AL SI 12 MN-MG UNI 3049
para mecanizar en caliente, con buena dilatación G AL SI 10 CU-MG-NI UNI 3050
complicados, pero mecanizables G AL SI 9 UNI 3051
complicados y cargados, caracterizados por buena tenacidad y resistencia a presión G AL SI 7 MG-MN UNI 3599
bonificados, cargados, bastante mecanizables, con buena resistencia a presión G AL SI CU-MG UNI 3600

complicados con resistencia suficiente a la corrosión — G AL SI 4,5 MN-MG UNI 3054
ídem, anodizables — G AL SI 2 MN-MG UNI 3055
ídem, muy resistentes a la corrosión y de fácil pulimento — G AL MG 10 UNI 3056
resistentes a la corrosión marina, con elevadas características mecánicas y de fácil pulimento — G AL MG 7 UNI 3057
para industria química, anodizables — G AL MG 3 UNI 3059
con buenas características, sin tratamiento de temple — G AL ZN 5 MG-FE UNI 3602
en coquilla y a presión, para dispositivos de buena estabilidad dimensional y buena resiliencia — G P ZN AL 4 UNI 3718
de piezas pequeñas que requieran gran resistencia al desgaste y a la corrosión intercristalina, resistencia a los agentes atmosféricos — G P ZN AL 4 C 3 UNI 3718

Moldeados de bronce, latón, bronces especiales

poco cargados	OT 63 UNI 1696
	OT 67 UNI 1696
moderadamente cargados	OTS UNI 1696
muy cargados	OTS 1 UNI 1696
	OTS 2 UNI 1696
	OTS 3 UNI 1696
complicados	B ZN 7 UNI 1701
ordinarios	B PB 4 UNI 1701
para industria química	G CU AL 9 UNI 2511
resistentes al uso	G CU AL S III UNI 2511
sometidos a fuerte rozamiento	B 20 UNI 1701 (normalizados o con fósforo)
sometidos a fuerte rozamiento y desgaste	B 14 UNI 1701 (id.)
de paredes delgadas	B ZN 4 UNI 1701

Moldeados de fundición (por orden de resistencia) G 00 UNI 668
G 15 UNI 668
G 18 UNI 668
G 22 UNI 668
G 26 UNI 668
fundición meheanita — GE (n. u.)

resistentes a elevadas presiones: fundición meheanita GC (n. u.)
fundición meheanita GD (n. u.)
resistentes a saltos bruscos de temperatura (hasta 220° C): fundición esferoidal D 3 (n. u.)
de pequeño espesor (hasta 6 mm), de fácil mecanizado y temple: fundición meheanita GD (n. u.)
resistentes hasta 600° C: fundición meheanita HD (n. u.)
resistentes hasta 725° C: mecanizables únicamente con herramientas al carburo: fundición meheanita HB (n. u.)
resistentes hasta 850° C, difícilmente mecanizables: fundición meheanita HR (n. u.)
resistentes hasta 900° C: fundición meheanita SC (n. u.)
resistentes al desgaste, para mecanizar antes del tratamiento: fundición meheanita WHH (n. u.)
ídem, no mecanizables: fundición meheanita WB; super WH (n. u.)
ídem, en coquilla: fundición meheanita WBC; WEC (n. u.)
resistentes a la corrosión (excep. ác. nítrico y clorhídrico): fundición meheanita CB$_2$; KC
de gran resistencia en estado bruto, buena resistencia al desgaste, buena maquinabilidad, templable a la llama o por inducción: fundición nodular perlítica
ídem, con estructura ferrítica obtenida por recocido: fundición meheanita ferrítica
ídem, con estructura ferrítica obtenida ya sea en estado bruto de fundición, ya sea por tratamiento térmico: fundición meheanita perlítico-ferrítica
cuando se precise normalizado y revenido o bien temple y revenido: fundición meheanita martensítico-sorbítica
de elevada resistencia a la corrosión y al calor (como los aceros 18/8): fundición nodular austenítica
ídem al calor y a la dilatación (para los espesores inferiores a 25 mm, recocido): fundición nodular resistente al calor
resistentes al calor y a los ácidos, amagnéticos, resistentes a la corrosión y al desgaste: fundición nodular ni-resistente D$_2$; D$_2$B
ídem, pero de fácil soldadura y únicamente para temperaturas medianas y bajas D$_2$C
de bajo coeficiente de dilatación, resistentes al vapor húmedo y a barros abrasivos D$_3$
resistentes al desgaste, corrosión, temperaturas desde bajo cero hasta más de 800° C D$_4$

Molinos (elemento triturador) X 120 M 12 UNI 2954

Monobloques automóvil y compresores GS 10 (n. u.)
cañones escopeta GS 12 (n. u.)

Motocicletas (piezas varias)
de aleaciones ligeras — P AL CU 4 MG-MN UNI 3579
de fundición — GMB 35 UNI 3779

Motores de explosión (culatas) G AL SI 13 UNI 3047
G AL SI 9 MN-MG UNI 3051
aviación, refrig. aire (culatas) G AL CU 4 UNI 3578
P AL CU 3,5 FE-MG-NI UNI 3578
(partes muy cargadas aun en caliente) G AL CU 3 FE-MG-NI UNI 3046

Motores Diesel (partes de fundición) GS 2 (n. u.)

Muelas (recubrimiento resistente al desgaste): fundición meheanita WB (n. u.)

Muflas planos hasta 850° C: fundición meheanita HR (n. u.)
hasta 1200° C: X 25 CN 1533 UNI 3159

Niple para radios de motocicleta C 10 UNI 2953

Obturador para válvulas Aq 42 UNI 743
X 32 C 13 UNI 4047

Palancas de accionamiento GM 00 UNI 3779
moderadamente cargadas — 25 CD 4 UNI 2954
muy cargadas — 35 NC 9 UNI 2954
expuestas a choques y vibraciones — 38 CD 4 UNI 2954
con cubo dentado — 35 NC 9 UNI 2954

Palas de ventiladores P AL CU 4,4 MN MG UNI 3581
C 20 UNI 2954

Paletas de turbinas OTS UNI 2012

Paneles oxidados anódicamente P ALP 99,5 UNI 3566

Parrillas para hogares expuestas a gas corrosivo (SO$_2$)
hasta 1200° C X 45 CN 28 UNI 3159
hasta 900° C fundición meheanita SC (n. u.)
hasta 850° C fundición meheanita HR (n. u.)

Parrillas para industrias químicas X 10 CN 188 3161

Pasadores (en general) Aq 42 UNI 743
poco cargados — C 10 UNI 2953
C 15 UNI 2953
más cargados:
pequeños — 12 NC 3 UNI 2953
grandes — 15 NC 5 UNI 2953
indeformables al temple — 18 NC 16 UNI 2953
15 CND 3 UNI 2953
de cruceta — 19 CN 5 UNI 2953
de biela — 15 NC 11 UNI 2953
de articulación — 15 NC 11 UNI 2953
14 CN 5 UNI 2953
de cabeza esférica con capuchón — C 15 UNI 2953

Pasadores de aletas A 37 UNI 743

Pasadores de unión C 40 UNI 2954
cónicos — Aq 50 UNI 743
C 60 UNI 2954
forjados — Aq 60 UNI 673
Aq 70 UNI 673

Pasadores transversales cónicos A 37 UNI 743
C 60 UNI 2954

Patines para contactos eléctricos B ZN 2 UNI 1701

Pedales de bicicleta C 60 UNI 2954
GMB UNI 3779

Peines de roscar U 100 CM 4 UNI 2955

Perfiles de acero laminados en caliente: Aceros UNI 743

Pernos

ordinarios	Aq 42 UNI 673
	Aq 50 UNI 673
muy solicitados	40 C 4 UNI 2954
	35 CM 4 UNI 2954
sin tratamiento	12 F 2 UNI S 114
tratamiento corriente	22 F 1 UNI S 114
de características medianas	33 CM 4 UNI S 114
de características elevadas	33 NC 5 UNI S 114
de característ. elevadísimas	28 MCV 5 UNI S 114
especiales con características elevadas	30 CV 10 S 114
tratados con características elevadísimas	50 CV 10 S 114
de aleación ligera	P AL CU 3,5 FE MG NI UNI 3578
estampados gruesos	32 CD 4 UNI 2954
	38 CD 4 UNI 2954
gruesos y medianos	C 20 UNI 2954
especiales (recalcados en frío)	35 NC 5 UNI 2954
de latón	OTS UNI 2012

Pernos (de acero)

especiales	C 15 UNI 2953
	C 30 UNI 2954
(de aleación ligera)	P AL ZN 5,8 MG CU UNI 3735
	AL ZN 7,8 MG CU UNI 3737 S

(de acero) Aq 34 UNI 743

Pernos de anclaje para fundaciones de máquinas Aq 37 UNI 743

Pernos para bridas de tuberías

tipos de cabeza hexagonal y tipo de tirante

	(tornillo)	A 37 UNI 743
		Aq 50 UNI 743
	(tuerca)	A 00 UNI 743
		A 37 UNI 743
tipo de tirante aligerado	(tornillo)	Aq 50 UNI 743
	(tuerca)	A 37 UNI 743
		A 50 UNI 743

Piezas fundidas (véase **Moldeados**)

Piezas pequeñas

de precisión	12 F 2 UNI S 114
de latón	OT 67 UNI 2012
	OT 72 UNI 2012
	OT 80 UNI 2012
	OT 85 UNI 2012
	OT 90 UNI 2012
	OT 90 UNI 2012
de aluminio	P ALP 99,0 UNI 3567

Piezas mecánicas de acero forjadas o estampadas

para cementar con buena tenacidad (núcleo)	19 CNC UNI 2953
expuestas a vibraciones y choques, de tamaño mediano (aeronáutica, automovilismo)	38 CD 4 UNI 2954
de pequeño tamaño, moderadamente cargadas, de gran tenacidad y elevada dureza superficial	12 NC 3 UNI 2953
semejantes pero de mayor resistencia	15 NC 5 UNI 2953
de tamaño mediano, muy cargadas, tenaces y resistentes	38 NCD UNI 2954
muy cargadas, de tamaño grande y mediano	15 NC 11 UNI 2953
sin cementar, resistentes a la fatiga por torsión	18 NC 13 UNI 2953
de gran tenacidad y elevadísima dureza superficial, de pequeño tamaño	18 NC 16 UNI 2953
poco deformables al temple, de tamaño grande y mediano	17 NCD 7 UNI 2953
de gran tamaño, fuertemente cargadas y con notable tenacidad	35 NCD UNI 2954
sometidas a fuertes cargas alternativas y choques, con elevadísima penetración del temple	40 NCD 7 UNI 2954
sometidas a fuertes cargas dinámicas y a fatiga, de gran tamaño	30 NCD 12 UNI 2954
cuando sólo se exige gran dureza	C 40 UNI 2954
de gran dureza y resistencia al desgaste	C 60 UNI 2954
moderadamente cargadas, resistentes al desgaste	35 MS 5 UNI 2954
de pequeña sección, forma regular, estructura estable, poco cargadas	25 CD 4 UNI 2954
de tamaño mediano, moderadamente cargadas, sometidas a choques	35 NC 5 UNI 2954
de gran resistencia, apropiadas para construcciones automáticas	35 NC 9 UNI 2954
mecánicas con elevada resistencia y buena dureza superficial (nitrurar)	30 CD 10 UNI 3096
macizas, sometidas a desgaste y a elevados esfuerzos de fatiga o alternativos (nitrurar)	30 CD 10 UNI 3096
muy cargadas, de gran dureza superficial (nitrurar)	42 CAD 7 UNI 3096
de elevadísima dureza superficial (nitrurar)	38 CAD 7 UNI 3096
trabajando sin choques, sin solicitaciones de flexión, completamente mecanizadas antes de los tratamientos térmicos	90 C 4 UNI 3160
con buena tenacidad y pequeña deformación al temple	30 NCD 15 UNI 3160
en contacto con anhídrido sulfuroso, ácido sulfúrico, hipoclorito sódico, ácido nítrico, lejías al bisulfito, etc.	X 10 CND 188 UNI 3161
expuestas a fuerte desgaste y fatiga	30 CD 10 UNI 3096
de gran dureza superficial (900 Hv)	42 CAD 7 UNI 3096
de elevadísima dureza superficial (1200 Hv)	8 CAD 7 UNI 3096

Piezas mecánicas de aleaciones de aluminio (modelado plástico)

gran resistencia a la corrosión, buenas características mecánicas, anodizables	P AL MG 1,5 UNI 3573
	P AL MG 2,5 UNI 3573
gran resistencia a la corrosión, especialmente en atmósfera marina, buenas características mecánicas, anodizables	P AL MG 3,5 UNI 3575
ídem, pero no admiten anodizado	P AL MG 5 UNI 3576
termoestables con elevadas características mecánicas, estampadas y forjadas en caliente	P AL SI 12 MG-CU-NI UNI 3572
embutidas y estiradas (pequeños accesorios)	P AL CU 2,5 MG-SI UNI 3577
termoestables con elevadas características mecánicas	M AL CU 3,5 FE MG NI UNI 3578
cargadas, industria aeronáutica y automovilística	P AL ZN 5,8 MG-CU UNI 3735
	P AL ZN 7,8 MG-CU UNI 3737
de gran resistencia a la tracción	P AL CU 4,4 SI MN MG UNI 3581
de gran resistencia mecánica, poco deformable en frío y de poca resistencia a la corrosión, soldables eléctricamente, admitiendo pulimento y mecanizado	P AL CU 4,5 MG MN UNI 3583
resistentes a la corrosión en ambiente marino	P AL CU 4 MG MN UNI 3579
elevada resistencia a la corrosión, buena resistencia a la tracción	P AL CU 4,5 MG MN plac. 3584
buenas características mecánicas, moderada resistencia a la corrosión, de fácil mecanizado y pulimento	P AL ZN 5,8 MG CU UNI 3735
ídem, muy resistentes a la corrosión (construcciones aeronáuticas)	P AL ZN 5,8 MG CU plac. UNI 3736
características mecánicas muy elevadas, moderada resistencia a la corrosión, poco deformables	P AL ZN 7,8 MG CU UNI 3737
ídem, muy resistentes a la corrosión	P AL ZN 7,8 MG CU plac. UNI 3738

Piezas mecánicas de aluminio (modelado plástico)
buena resistencia a la corrosión, gran plasticidad, características mecánicas moderadas — P ALP 99,0 UNI 3566
elevadísima resistencia a la corrosión, muy deformables, características mecánicas moderadas, anodizables — P ALP 99,5 UNI 3567

Piezas mecánicas de bronce (modelado plástico)
resistentes a la corrosión salina — B 7 UNI 2527
estampadas y forjadas — P CU AL 9 UNI 2512
semejantes, para tratamientos térmicos — P CU AL S UNI 2512
de latón (modelado plástico) — Latones UNI 2012
de latón, estampados profundos — OTS 68 UNI 2012
de latón, de gran resistencia — OTS 1; 2; 3 UNI 2012

Piezas mecánicas de chapa
estampadas con embutido ligero al martillo o por prensa — C 7 I UNI 3145
embutido profundo, por prensa, para barnizar — C 7 II UNI 3145
embutido muy profundo, partes internas de carrocería, para barnizar — C 7 III UNI 3145
para casos de gran dificultad y para partes externas de carrocería — C 7 IV UNI 3145

Piñón sensitivo para trinquete del micrómetro 12 F 1 UNI S 114

Piñones — 48 S 5 UNI 3545
cónicos — 15 NC 11 UNI 2953
18 NC 13 UNI 2953
de doble corona — 15 NC 5 UNI 2953

Piñones para cadena 4 C 4 UNI 2954

Pistones
para Diesel lento refrigerado por agua — G S 27 (n. u.)
disco de refrigeración — B ZN 6 UNI 1701
embudo — G 22 UNI 668
de bombas de compresión — G AL SI 5 CU MG UNI 3600
de automóvil — P AL CU 3,5 FE-MG-NI UNI 3578
de automóvil en coquilla — G AL CU 12 UNI 3040
de automóvil con elevadas características en caliente — G AL CU 10 UNI 3040
G AL CU 10 NI-SI-MG UNI 3042
motor de explosión normal — G 97 (n. u.) (Neuhausen-Suiza)
Nelson-Bonalite (USA) = = G Cq AL CU 10 UNI
Nural 122 (Alemania) (n. u.)
Nural 132 A-B (n. u.)
ídem, muy cargado — Nural 142 A-B = G-Sq AL CU 4
G-Cq AL CU 4 UNI 0000
Alusil (n. u.) (Karl Schmidt Neckarsulm)
motor aviación — G AL CU 3 F MG NI UNI 3045
G AL CU 4 UNI 3045
motor motocicleta — G AL SI 10 CU MG NI UNI 3050

Placas de cimentación G 15 UNI 668

Placas de hornos de recocido — X 25 CN 2412 UNI 3159
(hasta 900° C) — X 20 CN 2412 UNI 3161
expuestas a gas corrosivo (SO_2) hasta 1200° C — X 45 CN 28 UNI 3159

Planos de martinete 35 NCD 15 UNI 2954

Plaquitas de cadenas calibradas C 72 UNI 3545

Plataforma de tornillo de banco giratorio fundición perlítica

Platos de presión para prensa X 200 C 13 UNI 3160

Poleas — C 15 UNI 668
partidas — G 18 UNI 668
conos de — G 18 UNI 668
acanaladas para cables — G 35 UNI 346 (?)
fundición meheanita — G C

Portasatélites de diferencial 14 CN 5 UNI 2953

Prensaestopas máquinas de vapor: medios aros — MB O UNI 2184
ídem, recalentado — OT 58 UNI 2012
para juntas de dilatación — G 26 UNI 668

Prensas (placa de presión) — X 200 C 13 UNI 3160
(bastidor) — G Sf

Protecciones de uniones A 00 UNI 2633

Pulverizador de inyector (Diesel)
(cuerpo) — 18 NC 16 UNI 2953
(aguja) — UX 80 WV 18 UNI 2955

Puntas para taladradoras
UX 82 WD 65 UNI 2955
UX 82 DW 5 UNI 2955
UC 110 UNI 2955

Punzones C 40 UNI 2954
UC 110 UNI 2955
UC 100 UNI 2955

Quemadores para gas y fuel oil
partes expuestas a temperaturas
hasta 1200° C — X 45 CN 28 UNI 3159
hasta 650° C — fundición meheanita HA
hasta 850° C — fundición meheanita HR
hasta 900° C — fundición meheanita SC

Quicioneras B 14 UNI 1701

Radios para rueda de automóvil C 10 UNI 2953

Rasquetes U 115 UNI 2955

Recipientes a presión Aq 34 UNI 2633
Aq 42 UNI 2633
Aq 48 UNI 2633
Aq 53 UNI 2633
Aq 60 UNI 2633
Aq 70 UNI 2633
Aceros especiales UNI 3965
para industrias químicas (hasta 850° C) — fundición meheanita (n. u.)
sometidos a presión de vapor saturado (cajas) hasta 225° C — B ZN 4 UNI 1701

Reenvíos de transmisiones para maniobras
a mano (soporte y tapa) — GMB 40 UNI
GMN 37 UNI
horquillas y engranajes — Aq 42 UNI 673
OTS 58 UNI 2012

Refinerías (partes de la planta hasta 725° C)
fundición meheanita HB (n. u.)

Remaches para construcciones aeronáuticas
P AL CU 2,5 MG SI UNI 3577

Resortes ordinarios — C 45 UNI 3545
C 60 UNI 3545
(∅ alambre ≤ 8 mm) — C 72 UNI 3545
(helicoidales) — C 85 UNI 3545
de suspensión (∅ alambre > 7 mm) — 52 S 8 UNI 3545
muy cargados — C 98 UNI 3545
muy cargados por fatiga — 50 CV 4 UNI 3545
de ballesta Ferrocarriles del Estado (Italia) — 48 S 5 UNI 3545
ídem, muy cargados — 52 S 8 UNI 3545
para motores de automóvil (y armas) — 52 SCN 5 UNI 345
de discos para ferrocarriles — 48 S 5 UNI 3545
de amortiguamiento — 48 S 5 UNI 3545
de válvulas de motor de aviación — 50 CV 4 UNI 3545
de fleje y en espiral — 52 SC 5 UNI 3545
de retroceso — 52 SCN 5 UNI 3545
durísimos — P CU AL 9 UNI 2527
P AL CU 3,5 FE-MG-NI UNI 3578
de bronce — B 6 UNI 2527
de discos de latón (crudo) — OT 67 UNI 2527
OT 72 UNI 2012
OTS 65 UNI 2012
OTS 68 UNI 2012

Retortas para azúcar — fundición meheanita HB
para gas hasta 850° C — fundición meheanita HR

Revestimientos decorativos R AL MG 1,5 UNI 3573

Revestimientos para hornos de coque
fundición meheanita HE (n. u.)

Revestimientos resistentes a la corrosión marina
(navales) — P AL MG 3,5 UNI 3575
P AL MG 5 UNI 3576

Rodillos para hornos continuos
para tratamiento hasta 900° C — X 25 CN 2420 UNI 3159
X 20 CN 2412 UNI 3161
para cojinetes — 100 C 6 UNI 3097
100 CM 4 UNI 3097
(resistentes al calor y a la corrosión) X 110 UNI 3097

Rodetes de bomba centrífuga B 14 UNI 1701 (con fósforo)
OTS 1; OTS 2; OTS 3 UNI 169
de bomba hélico-centrífuga G AL MG 7 UNI 3057
para compresor centrífugo de motor de aviación — elektron (**n. u.**)

Ruedas en general fundición meheanita GB
para ferrocarriles y tranvías (cuerpo con llantas ajustadas) Aq 42 UNI 673
para coronas dentadas G 22 UNI 688
para grandes velocidades fundición meheanita GA (**n. u.**)
para minería (resistentes al desgaste) (en coquilla) fundición meheanita WBC
para vagonetas de minas (en coquilla) fundición meheanita WEC
libres, de rodillos para automóviles:
manguito — 20 CD 4 UNI 3608
caja exterior — 40 C 4 UNI 2954
corona — B 14 UNI 1698

Ruedas dentadas (v. también engranajes)
helicoidales para tornillo sin fin — P CU AL S I UNI 2511
P CU AL S II UNI 2511
P CU AL S III UNI 2511
P CU AL S IV UNI 2511
dentadas para cadenas — G 26 UNI 668

Sacabocados UC 100 UNI 2955
Sectores dentados 40 C 4 UNI 2954
Sectores para cojinetes de empuje B 20 UNI 1701

Segmentos de émbolos
(aviación) — GS 1 (**n. u.**)
(automóvil y Diesel) — GS 2 (**n. u.**)
(centrifugados y de calidad) — GS 3 (**n. u.**)
(grandes segmentos Diesel rápidos) — GS 4 (**n. u.**)

Semiejes — 17 NCD 7 UNI 2953
(muy cargados) — 40 NCD 7 UNI 2954

Serpentines Aq 35 UNI 663

Sierras C 60 UNI 2954

Soleras de hornos de recocer X 25 CN UNI 2412

Sombreretes de soportes G 00 UNI 668

Soportes — Aq 45 UNI 3158
para cojinetes de bolas — G 18 UNI 668
de apoyo de cojinetes — GM 35 UNI 3779
construidos con elementos soldados — C 9 UNI S 116
móviles para industria química — X 20 CN 2412 UNI 3161

Tambor para cabrestante — G 22 UNI 668
fundición meheanita GB (**n. u.**)
para grandes velocidades — fundición meheanita GA (**n. u.**)
para frenos (de grúas, cabrestantes) — fundición meheanita WA (**n. u.**)
para ruedas de motoscooter — G AL CU 4,5 UNI 3044
para frenos de automóvil — G 26 UNI 668

Tapón de expansión del válvulas A 00 UNI 2633
B ZN 7 UNI 1701

Tapón de purga para calderas
(estampado) — Aq 42 UNI 673
(de chapa estampada) — Aq 42 UNI 815

Tensores en general manguito cerrado — A 35 UNI 663
tensor — Aq 34 UNI 673
manguito abierto — Aq 34 UNI 673
gancho, pasador, etc. — Aq 42 UNI 673
roscados — C 10 UNI 2954
(pequeños) (manguito) — OT 60 UNI 2912

Tirantes de dirección — C 20 UNI 2954
(poco cargados, soldables) — 25 CD 4 UNI 2954

Toberas de inyectores GB 2 (**n. u.**)

Topes para vagones de ferrocarril
cajas — Aq 45 UNI 3158
placas — Aq 42 UNI 673

Tornillos — Aq 42 UNI 743
de latón, de barra — OT 58 UNI 2012
OT 65 UNI 2012
de latón para madera — OT 60 UNI 2012
OT 67 UNI 2012
de poca importancia — A 34 UNI 749
sin fin, para accionamiento — 12 NC 3 UNI 2953
reductores (incluidos los globoides) — C 40 UNI 2954
de bronce — P CU AL SI UNI 2512
para maniobra de movimiento (tornillo) — C 60 UNI 2954
(tuerca) — GMB 45 UNI 3779
para prensas — C 30 UNI 2954

Tornillos de banco C 10 UNI 2953

Tornillos paralelos (giratorios) base — fundición perlítica
cuerpo fijo y móvil — GMB 40 UNI 3779

Trinquetes para micrómetros U 115 W UNI 2955

Troqueles 100 C 6 UNI 3097
100 CM 4 UNI 3097
90 C 4 UNI 743

Tubos de aletas — A 00 UNI 663
para altas presiones, para cuerpos cilíndricos, colectores, etc. — Aq 45 UNI 663
para perforaciones — Aq 55 UNI 663
Aq 65 UNI 663
soldables muy resistentes — 25 MC 6 UNI 2954
para calderas — Aq 35 UNI 663
resistentes a los ácidos, etc. — X 17 CN 188 UNI 3161
para protección de líneas eléctricas — A 00 UNI 663
para protección de pares termoeléctricos — X 25 CN 1533 UNI 3159
de acero sin soldadura — Aceros UNI 663
de bronce P CU AL 5 UNI 2512
P CU AL 9 UNI 2512
P CU AL S I (S II, S III, S IV) UNI 2512
para recalentadores — fundición meheanita HA
no soldables, de gran resistencia — 40 C 4 UNI 2954

Tuercas de poca importancia — A 37 UNI 743
almenadas — A 37 UNI 743
de buena calidad — Aq 34 UNI 743
Aq 42 UNI 743
más resistentes — 30 NCD 12 UNI 2954
ciegas — Aq 34 UNI 743

Uniones Cardan pequeñas — 40 C 4 UNI 2954
normales — 35 MS 5 UNI 2954
pesadas: horquilla — 35 MS 5 UNI 2954
cruz — 15 NC 11 UNI 2953

Uniones de dientes para laminador Aq 50 UNI 673

Uniones elásticas (tipo Pomini) G 26 UNI 668
(cubo, campana, discos)

Uniones de manguito Aq 34 UNI 743

Uniones de Oldham cuerpo central — B 20 UNI 1701
semiuniones — G 22 UNI 668

Utensilios domésticos de aluminio — P ALP 99,0 UNI 3567
(de calidad) — P ALP 99,5 UNI 3566

Utillaje para extrusión en caliente y para fusión a presión de cobre y aleaciones (hasta 650° C) UX 28 W 9 UNI 2955
(hasta 630° C) UX 35 CD 5 UNI 2955

Vainas (proyectiles) OT 65 UNI 2012
OT 67 UNI 2012
OT 72 UNI 2012

Válvulas
de seguridad (de contrapeso, de resorte)
(partes muy cargadas) — Aq 42 UNI 743
(partes menos cargadas) — A 37 UNI 743
de paso corrientes — B ZN 6 UNI 1701
(válvula, manguito, vástago) — OT 60 UNI 2012
(husillo del obturador) — Aq 42 UNI 743
(caja) — G 22 UNI 668
(otras partes) — A 37 UNI 743
para fluidos
(vapores, derivados del petróleo, corrosivos) — X 17 CN 188 UNI 361

Válvulas de compuerta fundidas
Véanse las combinaciones detalladas de los materiales en las tablas UNI 2776 y 3005

Válvulas de disco cuerpo y caja (cuerpo) X 20 C 12 UNI 3161
fundición meheanita GM (**n. u.**)
husillo y tapa 30 CD 10 UNI 3096
tuerca, anillo, disco X 40 C 14 UNI 4047
asiento para el cuerpo y tapa X 12 CN 1811 UNI 4047

Válvulas de disco calibrado (hasta 120° C)
(caja) B ZN 7 UNI 1701
(tapa roscada) GM UNI 3779

Válvulas de carga equilibrada
para industrias químicas: cuerpo y campana GM 35 UNI 3779
válvula C 30 UNI 2954
otras partes OT 58 UNI 2012

Válvulas de inmersión para bombas B ZN 7 UNI 1701

Válvulas de punzón OT 60 UNI 2012
OTS 58 UNI 2012

Válvulas para agua B ZN 7 UNI 1701
B ZN 6 UNI 1701
B ZN 4 UNI 1701
GM 00; GM 35; GMN 36;
GMN 37 UNI 3776; GMN 45 UNI 3776

Válvulas para fluidos calientes (hasta 225° C) B ZN 4 UNI 1701

Válvulas para gases calientes fundición meheanita HE (**n. u.**)
poço dilatables esferoidal Ni-resist. D 3 (**n. u.**)

Válvulas para motores de aviación
(admisión) X 43 CS 8 UNI 3992
(escape) X 45 CN 199 UNI 3992

Válvulas para motores de combustión interna
(admisión) X 43 CS 8 UNI 3992
(platillo apoyo resortes) C 30 UNI 3957

Válvulas para vapor G CU AL S II UNI 2511

Válvulas y asientos para motores de combustión interna
X 43 CS 8 UNI 3992
X 45 CNW 1909 UNI 3992
X 50 CNW 1414 UNI 3992
X 80 CSN 20 UNI 3992

Vaporizadores fundición meheanita HE

Vástago de émbolo (acero) C 40 UNI 2954
(latón) OT 58 UNI 2012
(bronce) P CU AL S I (S II) (S III)
(S IV) UNI 2512

Vástago de válvulas OT 58 UNI 2012

Ventiladores (palas) P AL CU 4,4 SI-MN-MG UNI 3581

Volante G 22 UNI 668
fundición meheanita GB (**n. u.**)
(para automóvil, muy cargado) GS 28 (**n. u.**)

Volante de mano para maniobra G 18 UNI 668
íd. aligerado con agujero cuadrado recto GM 35 UNI 3779

Yunques UC 70 UNI 2955

Zapatas para frenos GMB 45 UNI 3779
P AL CU 4 MG MN UNI 3579

Zócalos para frenos G 18 UNI 668

Zunchos de molinos GB 3 (**n. u.**)

Capítulo I

DEFINICIONES

1. Magnitudes escalares y vectoriales

En todo problema técnico se manejan magnitudes de diversas clases: tiempo, velocidad, longitud, superficie, temperatura, etc. Observemos que cualquier magnitud puede clasificarse en una de las categorías denominadas respectivamente **escalares** y **vectoriales.**

Una magnitud es **escalar** *cuando queda determinada perfectamente mediante un solo número que expresa su valor;* tal es el caso de una longitud, un tiempo o una temperatura.

Las magnitudes **vectoriales,** por el contrario, *precisan de un mayor número de características para su completa determinación, concretamente, su* **magnitud** (o *intensidad*); su **dirección**; su **sentido**; y el **punto de aplicación** (cuando tenga lugar). Según esto son magnitudes vectoriales la fuerza, la velocidad (cuando no se limita a tener en cuenta su simple valor numérico), etcétera.

Las magnitudes vectoriales se representan **convencionalmente** *mediante un segmento orientado,* llamado **vector** (fig. IV, 1) cuya *longitud* **OA** (a la escala representada) indica la *magnitud* y cuya *dirección* indica la de la magnitud vectorial; yendo el *sentido* de la magnitud, de la cola a la punta del vector, pudiendo representar, eventualmente, el extremo opuesto a la punta, el *punto de aplicación*.

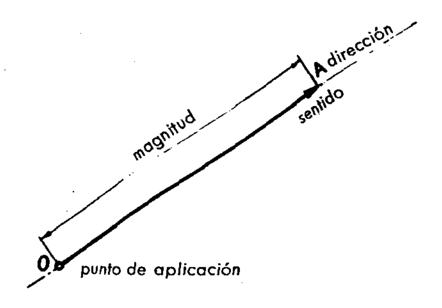


Fig. IV, 1. *Elementos de un vector.*

2. Resultante de dos o más vectores

Dos vectores, aplicados en un mismo punto **O**, pueden *componerse*, esto es, *determinar un vector único que equivalga a los dos dados.* Se demuestra que dicho vector único, llamado **resultante** de los vectores dados, es el representado por la *diagonal* **OC** *del paralelogramo* **OACB** construido sobre ellos (figura IV, 2). La otra diagonal **BA** es la diferencia entre ambos vectores **OA** y **OB**.

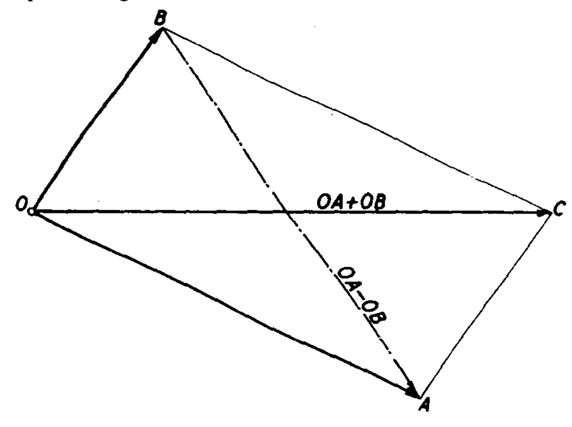


Fig. IV, 2. *Dos vectores* OA *y* OB *se componen por la regla del paralelogramo: la diagonal* OC *es la resultante: la otra diagonal* BA *representa la diferencia de los dos vectores* OA *y* OB.

Por tanto:

$$\mathbf{OA} + \mathbf{OB} = \mathbf{OC}$$

$$\mathbf{OA} - \mathbf{OB} = \mathbf{BA}$$

Cuando los vectores son más de dos, su resultante puede determinarse hallando la del 1.° con el 2.°, y componiendo la resultante hallada con el 3er vector,

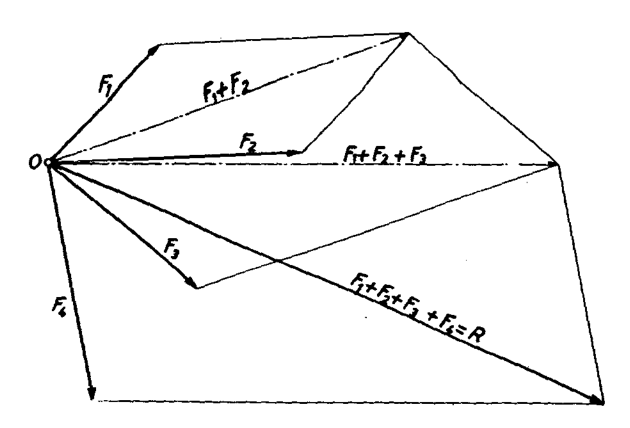


Fig. IV, 3. *Composición de varios vectores por el método de las resultantes sucesivas.*

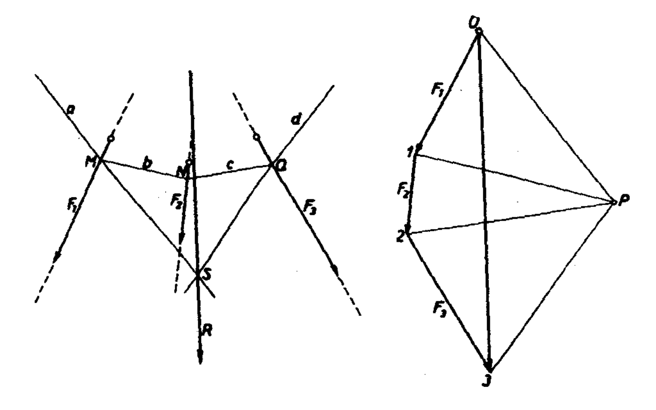


Fig. IV, 5. *Polígono funicular para hallar la resultante de varios vectores coplanarios.*

y así sucesivamente hasta el último (fig. IV, 3) **(método de las resultantes sucesivas)**; puede, no obstante, abreviarse la construcción mediante el **polígono de vectores** (fig. IV, 4) obtenido trazando por el extremo del primer vector un segmento *equipolente* (de igual longitud y dirección) al segundo vector; del extremo de este segmento otro equipolente al tercero, y así sucesivamente. *La resultante se obtiene uniendo el extremo libre del primer vector, con el extremo del último.*

Si los vectores no están aplicados en el mismo pun-

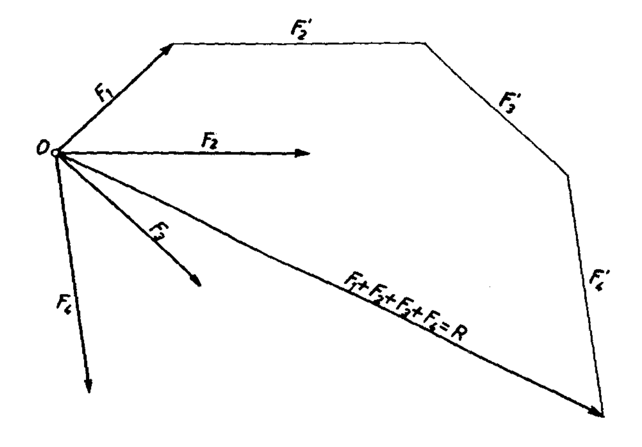


Fig. IV, 4. *Se pueden componer más rápidamente varios vectores por el método del polígono de los vectores.*

to, pueden hacerse deslizar a lo largo de su línea de acción, de modo que se lleven ambos al mismo punto de aplicación, efectuándose luego la composición por el método del paralelogramo, aplicándose el mismo método a las resultantes parciales obtenidas, teniendo en cuenta que poseen propiedad conmutativa. Esta construcción, lenta y laboriosa cuando el número de vectores es muy elevado, puede evitarse recurriendo a la obtención de la resultante por medio del **polígono funicular** (fig. IV, 5).

Con este procedimiento, la determinación de la resultante de un sistema cualquiera de fuerzas coplanarias (es decir, cuyas líneas de acción están sobre un mismo plano) se efectúa del modo siguiente:

a) Se trazan los vectores dados, uno a continuación de otro, tal como se indica en la parte derecha de la figura IV, 5 (es decir, se construye el polígono de vectores).

b) Se prolonga, si es necesario, la línea de acción de los vectores, tal como se indica en la parte izquierda de la figura.

c) Tomando un punto **P** (con la práctica se sabrá elegir la posición conveniente para el punto **P**) se proyectan los extremos de la poligonal obtenida en *a*).

d) Partiendo de un, punto cualquiera se traza una paralela **a** a **OP**; por el punto **M** de intersección de **a** con la línea de acción del primer vector se traza una paralela **b** a **1P** hasta **N**; se traza una paralela a **2P** desde **N** hasta **Q**, y así sucesivamente. La última paralela trazada cortará a la prolongación de la **a** en un punto **S** por el que pasa la resultante.

e) Por **S** se traza la *resultante equipolente al lado que cierra el polígono* (en la figura, **O3**).

Este método es aplicable también a un sistema de vectores paralelos, para el que, evidentemente, carece de sentido el procedimiento del paralelogramo.

REPASO DE LAS PRINCIPALES DEFINICIONES DE LA CINEMÁTICA

3. Movimiento de un cuerpo

Un cuerpo está en movimiento cuando, en el transcurso del tiempo, cambia de posición respecto a otro o varios de ellos tomados como *puntos de referencia*. El concepto de movimiento es completamente **relativo**. Las características que definen el movimiento de un cuerpo son las siguientes:

Trayectoria. Un punto del cuerpo en movimiento (fig. IV, 6 *a*) *recorre, a lo largo del tiempo, una línea llamada* **trayectoria.** Si ésta es recta, el movimiento es *rectilíneo*; si es curva, es *curvilíneo*. Según la forma de su trayectoria un movimiento curvilíneo se denomina *circular, elíptico, parabólico*, etcétera.

Dirección del movimiento. Si el movimiento es rectilíneo, su dirección coincide con la de la trayectoria y *es invariable; en cualquier otro caso la dirección varía a cada instante, y coincide, en cada punto, con la* **tangente** *a la trayectoria en dicho punto.*

Recorrido. En el caso más general de trayectoria, *se denomina recorrido del punto entre un instante inicial* $\mathbf{t}_0$ *y un instante final* $\mathbf{t}_1$ *a la longitud del arco de trayectoria* **AB** *recorrido en el intervalo de tiempo considerado* (fig. IV, 6 *b*).

Velocidad media. Es la relación entre el espacio recorrido y el tiempo empleado en recorrerlo. Si el

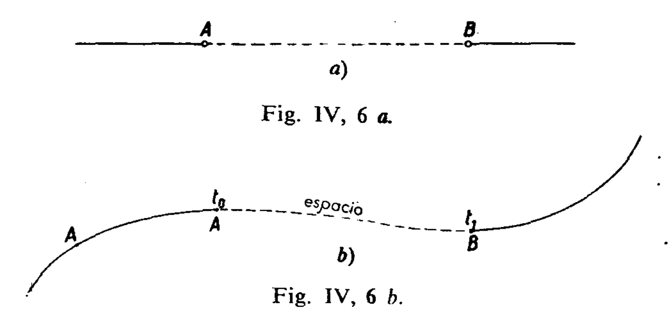


Fig. IV, 6. *Trayectoria y espacio recorrido.* a) *Trayectoria rectilínea;* b) *curvilínea.*

recorrido viene dado en metros y el tiempo en segundos la velocidad resulta expresada en *metros por segundo* (m/s); en algunas aplicaciones se emplean otras unidades de medida (*metros por minuto, kilómetros por hora*, etc.). Es corriente decir, en el lenguaje ordinario, que la velocidad es el espacio recorrido en un segundo; sin embargo, es un modo de hablar impropio. Es preferible decir, que: *el valor de la velocidad es el mismo que el del espacio recorrido en la unidad de tiempo.*

4. Movimiento uniforme y movimiento variado

Si tomando partes cada vez más pequeñas del tiempo considerado se halla que la relación entre el recorrido y el intervalo de tiempo correspondiente es siempre constante, se dice que el movimiento es **uniforme**; puede decirse también que *es uniforme el movimiento cuya velocidad es constante, siempre que el intervalo considerado sea pequeño.*

Cualquier movimiento no uniforme es un movimiento variado. En este caso, *la velocidad media referida a un intervalo de tiempo* **pequeñísimo**, se llama **velocidad instantánea** y varía continuamente.

En toda variación de velocidad (en magnitud o dirección) *se dice que se tiene una* **aceleración.** Se define ésta como *la relación entre la variación de velocidad que ha tenido lugar en un tiempo cortísimo y el tiempo empleado para ello*, midiéndose en metros por segundo al cuadrado. Según esto, si en un cuarto de segundo la velocidad pasa de 2 m/s a 2,2 m/s, la aceleración viene dada por la variación de velocidad resultante (0,2 m/s) dividida por el tiempo (1/4 seg); con lo que resulta $0{,}2 : 0{,}25 = 0{,}8$ m/seg^2.

5. Movimiento de rotación uniforme

Por su aplicación práctica es sumamente importante el movimiento de rotación en el cual *cualquier punto del cuerpo en movimiento describe una trayectoria circular* (fig. IV, 7); *los planos de todas las circunferencias descritas por los distintos puntos del cuerpo son paralelos entre sí,* **estando los centros de todas las circunferencias sobre una recta** *(perpendicular a los planos de las circunferencias)* **llamada eje de rotación.**

Los movimientos que tienen lugar en la práctica son generalmente giratorios o alternativos. Entre los primeros tiene especial importancia aquel en el que *el valor numérico de la velocidad no varía; es el*

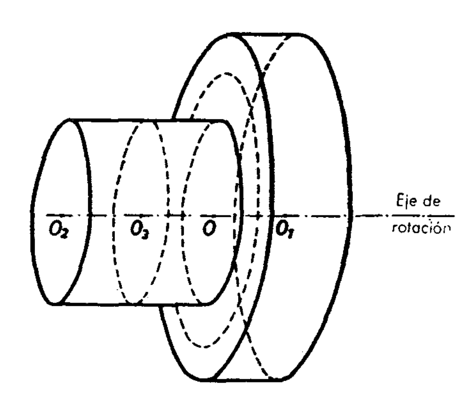


Fig. IV, 7. *En el movimiento de rotación, la trayectoria de cada punto es una circunferencia cuyo centro está sobre el eje de rotación.*

llamado movimiento de rotación uniforme. Un movimiento de rotación queda definido por su **velocidad angular.** En efecto, cuando un cuerpo se mueve con este tipo de movimiento (por ejemplo, una polea), se observa fácilmente que considerando los radios que unen puntos cualesquiera del cuerpo con la proyección **O** del eje de giro (fig. IV, 8), *dichos radios, sea cual fuere el punto de referencia, describen en tiempos iguales,* **ángulos** α **también iguales.** *El ángulo descrito en la unidad de tiempo caracteriza, por tanto, el movimiento de rotación del cuerpo y se denomina* **velocidad angular** ω.

Para calcular la velocidad angular, los ángulos han de medirse en **radianes**, *unidad de medida angu-*

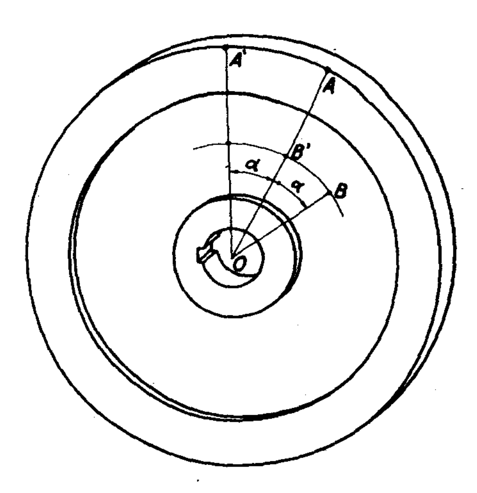


Fig. IV, 8. *Todos los puntos de un cuerpo que gira tienen la misma velocidad angular; en cambio, la periférica es proporcional a la distancia del punto al eje de rotación.*

lar, en la cual un arco completo de circunferencia (360°) *viene dado por* 2π

$$2\pi \text{ rad.} = 360^\circ$$
$$1 \text{ rad.} \cong 57^\circ 17' 45''.$$

Como se ha dicho, la velocidad angular se indica con ω. Con **T** se indica el tiempo (constante), denominado *período,* en el transcurso del cual el cuerpo efectúa una rotación, es decir, 2π radianes. *La velocidad angular vendrá, pues, dada por la relación entre* 2π y **T**; es decir,

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \text{ rad/seg}.$$

Se puede indicar con **n** la **frecuencia,** o sea, el número de vueltas por segundo, siendo evidente que:

$$n = \frac{1}{T} \quad \text{o también,} \quad T = \frac{1}{n};$$

y también, $\omega = 2\pi n$

A veces se indica con **n** el número de revoluciones por minuto; se debe dividir entonces, evidentemente, el segundo miembro por 60

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}.$$

Por ejemplo, el número de revoluciones efectuadas en un minuto, por un cuerpo que gira con velocidad angular $\omega = 62{,}8$ rad/seg será:

$$n = \frac{60\omega}{2\pi} = \frac{60 \cdot 62{,}8}{2 \cdot 3{,}14} = 600 \text{ r.p.m.}$$

En muchas ocasiones, además de conocer la velocidad angular, es indispensable conocer también la **velocidad periférica,** es decir, *la velocidad efectiva que poseen los diversos puntos del cuerpo considerado.* Hay que notar expresamente que, si bien la velocidad angular es constante para todos los puntos de un cuerpo que gira con rotación uniforme, **la velocidad periférica es proporcional a la distancia al eje del punto considerado;** con lo que *dos puntos del cuerpo en rotación tienen la misma velocidad periférica* **solamente en el caso de que equidisten del eje.** *La velocidad periférica se obtiene multiplicando la velocidad angular por la distancia* **R** *al eje,* midiéndose, como toda velocidad, en metros por segundo.

$$V = \omega R$$

Por ejemplo, un cuerpo que gira con velocidad angular $\omega = 160$ rad/seg posee en un punto situado a $R = 2$ m del eje de rotación, una velocidad periférica

$$V = \omega R = 160 \cdot 2 = 320 \text{ m/seg}$$

Aceleración centrípeta. Hemos dicho que a toda variación de velocidad le corresponde una aceleración. Aunque, en el movimiento de rotación uniforme el valor numérico de la velocidad permanezca constante, se observa en él *una variación de velocidad, puesto que el movimiento cambia de dirección a cada instante.* Cuando el punto en movimiento considerado está en **A** (fig. IV, 9), su velocidad está representada por el vector **AB**; cuando ha pasado a **A'**, el vector se ha convertido en **A'B'**, representando **BA'** la variación de velocidad; si no fuese por ello, el punto **A** se desplazaría en la dirección **AB** y no sobre la circunferencia. *Correspondiendo a esta variación de velocidad se tiene, en consecuencia, una aceleración llamada* **centrípeta,** dirigida constantemente hacia el centro de rotación y cuyo valor es *directamente proporcional al cuadrado de la velocidad e inversamente proporcional al radio de la circunferencia.*

Es decir, se tiene:

$$a_c = \frac{V^2}{R}.$$

Por ejemplo, un punto situado sobre la periferia de una rueda de 1,8 m de radio, que posee una velocidad angular

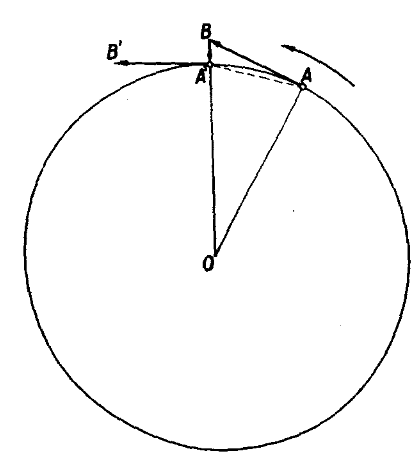


Fig. IV, 9. *En el movimiento de rotación uniforme, el valor numérico de la velocidad es constante: pero el movimiento cambia de dirección a cada instante, por lo cual, al variar la dirección de la velocidad, hay una aceleración llamada* centrípeta.

$\omega = 20$ rad/seg, tiene una aceleración centrípeta $a_c = \frac{V^2}{R}$, de donde, siendo $V = \omega R$, se tiene,

$$a_c = \frac{\omega^2 R^2}{R} = \omega^2 R = 20^2 \cdot 1{,}8 = 720 \text{ m/seg}^2$$

Cuando el cuerpo se mueve con movimiento de rotación uniforme, la aceleración centrípeta es constante. Cuando un punto se desplaza sobre una trayectoria curvilínea cualquiera, *es siempre posible sustituir cada tramo de la trayectoria* (fig. IV, 10), *más o menos corto, por un arco de circunferencia, siendo en este caso, el radio de cada tramo el que interviene en el cálculo de la aceleración centrípeta.*

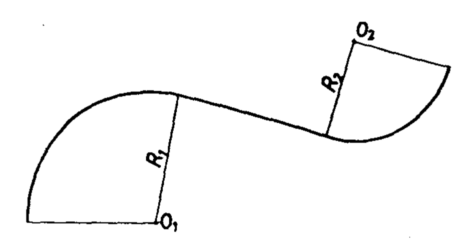


Fig. IV, 10. *Radios de curvatura de una parte de la trayectoria.*

Capítulo II

REPASO DE ALGUNAS NOCIONES FUNDAMENTALES DE ESTÁTICA Y DINÁMICA

6. Efecto de las fuerzas sobre los cuerpos

Suponemos ya conocido el concepto de *fuerza* por la Física. Recordaremos que se trata de *una magnitud vectorial* y que, en consecuencia, todas las operaciones de composición resumidas ya para los vectores en general (véase n.° 1) son aplicables a las fuerzas.

La intensidad de una fuerza se mide en el sistema Giorgi en *newton* (N). En la práctica, es corriente medir las fuerzas en kg, teniéndose aproximadamente:

1 kg = 9,8 newton
1 newton = 0,102 kg.

Cuando se aplica una fuerza a un cuerpo y éste es libre de moverse, adquiere movimiento si inicialmente estaba en reposo; si estaba ya en movimiento, cambia el carácter de éste teniendo lugar una aceleración.

Si, por el contrario, el cuerpo está **ligado,** es decir, si su libertad de movimiento es limitada, *no siempre tiene la fuerza* **efecto sobre su movimiento,** como se comprenderá mejor en seguida.

Componentes de una fuerza. Siendo las fuerzas magnitudes vectoriales es posible aplicar a las mismas las reglas expuestas en el n.° 1 para la composición de vectores. En particular, y para poder resolver muchos problemas prácticos y técnicos, *toda fuerza puede considerarse como resultante de otras dos,* que en este caso se denominan *componentes de la fuerza dada.* Para que el problema sea determinado es preciso fijar alguna de las características de las componentes, por ejemplo, su dirección. En este caso el problema no tiene dificultad, consistiendo solamente en determinar gráficamente los lados de un paralelogramo, conocida su diagonal y la dirección de los lados; resuelto en la figura IV, 11. **AB** es la fuerza dada, **AC** y **AD** las dos componentes según las direcciones **a** y **b**.

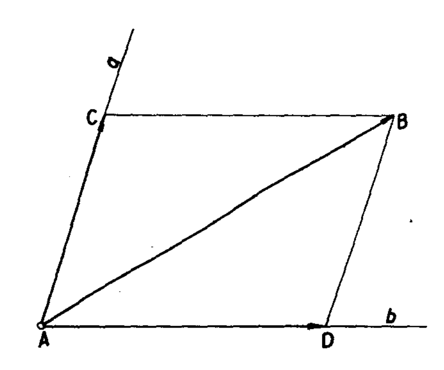


Fig. IV, 11. *Descomposición de una fuerza* AB, *por el paralelogramo, según dos direcciones* a, b *señaladas.*

En muchas aplicaciones, las direcciones de que estamos hablando son perpendiculares entre sí.

Por ejemplo, *si un cuerpo está obligado a moverse sobre una superficie plana* **S**, para estudiar las condiciones del movimiento que tendrá lugar cuando actúe sobre él una fuerza determinada **F** (fig. IV, 12), tendrá que descomponerse ésta en dos componentes, una paralela al plano y la otra perpendicular al mismo. La F_1 tiene efecto sobre el movimiento del cuerpo; la F_2, por el contrario, no le da movimiento

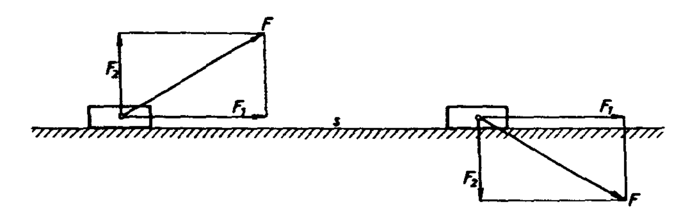


Fig. IV, 12. *Si un cuerpo está obligado a moverse sobre un plano, la única componente que puede producir su movimiento es la paralela al plano.*

alguno, tiende a levantarlo de la superficie (fig. *a*) o a apretarlo contra la superficie **S** (fig. *b*), dando origen, como pronto veremos, a una resistencia de rozamiento. En el caso de que la **F** fuera perpendicular a la superficie, la fuerza dada coincidirá con $\mathbf{F}_2$; $\mathbf{F}_1$ sería nula y el cuerpo no estaría solicitado al movimiento.

Por tanto, **para que una fuerza pueda tener efecto sobre el movimiento de un cuerpo ligado, es preciso que tenga una componente no nula en la dirección en que el movimiento está permitido.**

7. Momento de una fuerza o de un par

Par de fuerzas. Volvamos al caso de un cuerpo con un eje de rotación, un disco o una polea, por ejemplo, del que hablábamos en el n.° 2. Si **O** es el eje de rotación y **P** el punto de aplicación de una fuerza situada en el plano de la figura (fig. IV, 13), de acuerdo con lo expuesto en el n.° precedente, deberá descomponerse ésta en dos componentes, una *radial* (o *centrípeta*) **C**, sin consecuencias a efectos del movimiento giratorio, la otra **T**, *tangencial*, con efecto sobre dicho movimiento.

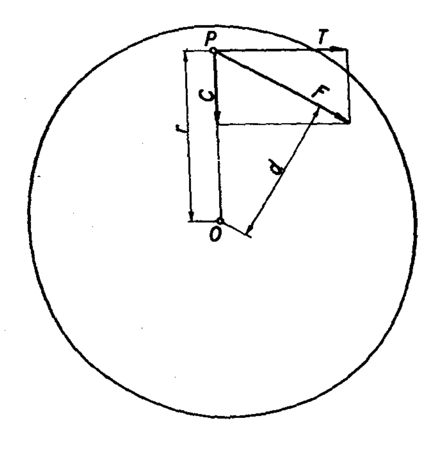


Fig. IV, 13. *Momento de una fuerza aplicada a un cuerpo que tiene un eje de rotación. El momento tiene el mismo valor tanto si se considera la fuerza* F *como su componente tangencial* T.

Llamando **r** a la distancia de **P** a **O**, y **d** a la de **F** a **O** (es decir, al segmento de la perpendicular a **F** trazada desde **O**), *definimos el* **momento** *de* **F** *respecto a* **O** *como el producto* $\mathbf{F} \cdot \mathbf{d}$. Puede también demostrarse fácilmente, por procedimientos geométricos, que se verifica la igualdad $\mathbf{F} \cdot \mathbf{d} = \mathbf{T} \cdot \mathbf{r}$ y que la rotación del cuerpo depende del mencionado momento. A **d** y **r** se les llama, respectivamente, **brazos** de **F** y de **T**.

Puesto que, tal como se ha dicho, *la acción de la fuerza aplicada depende, a efectos de la rotación,* **exclusivamente** *de su momento, es decir, del producto de los factores fuerza y brazo, es evidente*

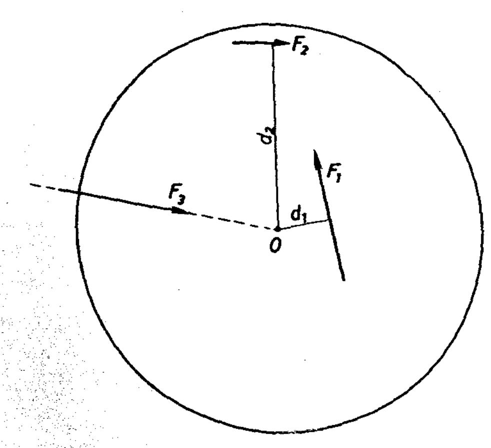


Fig. IV, 14. *De las tres fuerzas representadas la que da mayor momento es la* F_2, *pues aunque tiene menos intensidad, su brazo es mucho mayor. La* F_3 *tiene un momento nulo, porque pasando por el eje de rotación su brazo es nulo.*

que un determinado efecto giratorio (fig. IV, 14), *podrá lograrse, o bien con una fuerza pequeña* $\mathbf{F}_2$ *y un gran brazo* $\mathbf{d}_2$, *o bien con una gran fuerza* $\mathbf{F}_1$ *y un brazo pequeño* $\mathbf{d}_1$. Y es también evidente que, por grande que sea la intensidad de una fuerza $\mathbf{F}_3$ si pasa por el eje de rotación, jamás podrá producir el giro del cuerpo, por ser nulo su momento (fig. IV, 14). Este punto tiene una importancia técnica muy grande, como veremos dentro de poco.

Cuando a un cuerpo desprovisto de eje de rotación se aplica un sistema de *dos fuerzas paralelas* (fig. IV, 15), *de igual intensidad* **F** *y de sentido contrario,* el cuerpo comienza a girar como si tuviera un eje y actuara una sola fuerza cuyo *momento respecto al eje fuese* $\mathbf{F} \cdot \mathbf{d}$, siendo **d** la distancia entre las dos fuerzas paralelas. El sistema así constituido se denomina **par de fuerzas**, o simplemente, **par**; $\mathbf{M} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{d}$ es el **momento del par.**

Es evidente que, según sea el sentido de la fuerza o del par, *el movimiento producido tendrá un sentido o el opuesto. Se dice que un cuerpo gira en sentido* **normal** *cuando lo hace en el mismo que las agujas del reloj, y en sentido* **inverso** *en el caso contrario.*

Cuando se aplica un sistema de fuerzas a un cuerpo con eje de rotación, pueden seguirse dos caminos para conocer el momento resultante que solicita al cuerpo:

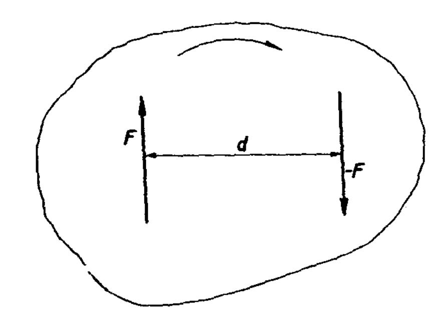


Fig. IV, 15. *Par de fuerzas.*

a) *Se determina la resultante del sistema de fuerza y se calcula el momento de ésta*, quedando así resuelto el problema.

b) *Se calculan los momentos de cada fuerza por sí sola respecto al eje y se efectúa la suma algebraica, atribuyendo el signo + a los momentos de sentido inverso y el signo — a los de sentido normal.* El resultado de dicha suma coincide con el momento hallado por el procedimiento a).

Puede decirse en definitiva:

Teorema de Varignon. *El momento de la resultante de un sistema de fuerzas coplanarias o paralelas es igual a la suma algebraica de los momentos de cada una de las fuerzas tomados todos ellos respecto a un mismo eje.*

8. Resultante de varias fuerzas paralelas. Descomposición de una fuerza en dos paralelas

La resultante de un sistema de fuerzas paralelas puede determinarse, tal como dijimos en el n.º 1, mediante el polígono funicular; no obstante, puede también determinarse, y con mayor facilidad, aplicando el teorema de Varignon, como se ve en los dos ejemplos que siguen.

a) *Caso de dos fuerzas paralelas y del mismo sentido* (fig. IV, 16): la intensidad de la resultante es evidentemente igual a:

$$\mathbf{R} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2$$

Su dirección es paralela a la de las fuerzas dadas, y su sentido el mismo que el de $\mathbf{F}_1$ y $\mathbf{F}_2$.

Para que la resultante quede completamente determinada, *es preciso, además, conocer un punto* **M** *de su línea de acción*. Sea **x** la distancia **MB**. Consideremos los momentos de las fuerzas y de su resultante respecto a **B**; la primera tiene por momento $\mathbf{F}_1 \cdot \mathbf{d}$; la $\mathbf{F}_2$ tiene momento nulo (porque es nulo su brazo), y la resultante tiene el momento $\mathbf{R} \cdot \mathbf{x}$. De donde, aplicando el teorema de Varignon, se tiene:

$$\mathbf{F}_1 \; \mathbf{d} = \mathbf{R} \cdot \mathbf{x}$$

y despejando:

$$\mathbf{x} = \frac{\mathbf{F}_1 \cdot \mathbf{d}}{\mathbf{R}}.$$

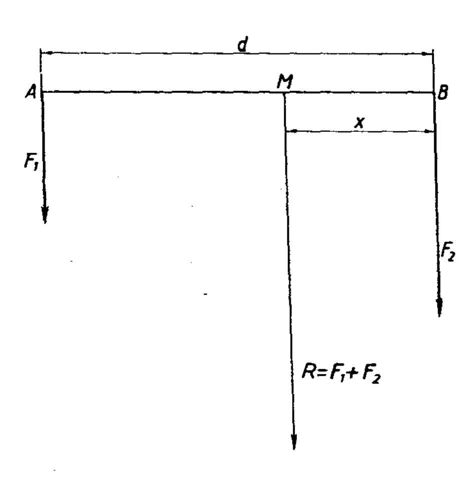


Fig. IV, 16. *Composición de dos fuerzas paralelas* F_1 *y* F_2, *del mismo sentido. Descomposición de una fuerza* R *en dos, paralelas a la misma, aplicadas en* A *y* B, *a cada lado de* R.

Por ejemplo, si fuera $\mathbf{F}_1 = 160$ kg; $\mathbf{F}_2 = 240$ kg; $\mathbf{d} = 2{,}5$ metros, tendríamos:

$$\mathbf{R} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 = 400 \text{ kg};$$

$$\mathbf{x} = \frac{\mathbf{F}_1\mathbf{d}}{\mathbf{R}} = \frac{160 \cdot 2{,}5}{400} = \frac{400}{400} = 1 \text{ m}.$$

b) *Caso de dos fuerzas paralelas y de sentidos opuestos* (fig. IV, 17). El cálculo y la experiencia demuestran que la resultante *tiene una intensidad igual a la diferencia entre ambas fuerzas:* $\mathbf{R} = \mathbf{F}_1 - \mathbf{F}_2$; que *su sentido coincide con el de la fuerza mayor, y su línea de acción, paralela a la de las fuerzas, es*

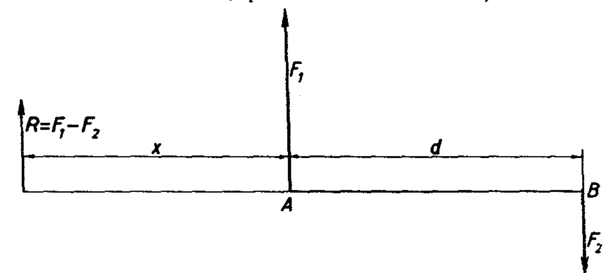


Fig. IV, 17. *Composición de dos fuerzas paralelas* F_1 *y* F_2, *de sentidos opuestos. Descomposición de una fuerza* R *en dos paralelas a la misma, aplicadas en* A *y* B, *al mismo lado de* R.

exterior a la zona comprendida entre ellas y se encuentra en el lado correspondiente a la mayor, a una distancia **x** *de la misma.* Para determinar **x**, de modo análogo al ejemplo precedente, se toman los momentos de todas las fuerzas con respecto, por ejemplo, a **A** (fig. IV, 17). Se tiene pues:

$$\mathbf{R} \cdot \mathbf{x} = \mathbf{F}_2 \cdot \mathbf{d}$$

de donde:

$$\mathbf{x} = \frac{\mathbf{F}_2\mathbf{d}}{\mathbf{R}}$$

Por ejemplo, si $\mathbf{F}_1 = 270$ kg; $\mathbf{F}_2 = 430$ kg, y $\mathbf{d} = 8$ m, se tiene:

$$\mathbf{R} = \mathbf{F}_1 - \mathbf{F}_2 = 270 - 430 = -160 \text{ kg}$$

(el signo — indica que la resultante tiene el sentido de $\mathbf{F}_2$);

$$\mathbf{x} = \frac{\mathbf{F}_2\mathbf{d}}{\mathbf{R}} = \frac{430 \cdot 8}{160} = 21{,}5 \text{ m}.$$

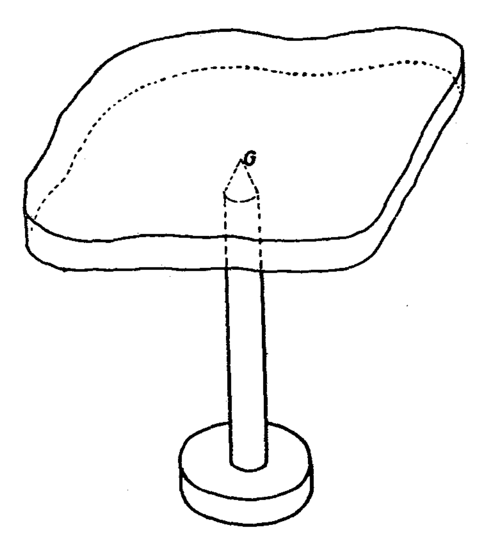


Fig. IV, 18. *Un cuerpo pesado está en equilibrio si la vertical del punto de apoyo pasa por su baricentro.*

De modo exactamente igual se resuelve el problema de la **descomposición de una fuerza dada en dos paralelas a ella,** cuya línea de acción se ha fijado previamente. Hay dos casos principales:

c) *Caso de descomposición de una fuerza en dos paralelas cuyas líneas de acción están situadas a ambos lados de la fuerza dada.*

Es el caso representado en la fig. IV, 16. **R** es la fuerza dada; las fuerzas buscadas son $\mathbf{F}_1$ y $\mathbf{F}_2$, distantes de **R** respectivamente **x y d — x.** Tomando momentos, por ejemplo, respecto a **B**, se tiene:

$$\mathbf{R} \cdot \mathbf{x} = \mathbf{F}_1 \cdot \mathbf{d}$$

de donde:

$$\mathbf{F}_1 = \frac{\mathbf{Rx}}{\mathbf{d}}$$

La intensidad de $\mathbf{F}_2$ es, evidentemente, $\mathbf{R} - \mathbf{F}_1$.

Por ejemplo, descomposición de una fuerza de 600 kg en otras dos paralelas a la misma, distantes respectivamente 1,20 y 1,80 m de aquélla. Es el caso de un peso aplicado a una viga horizontal, apoyada en dos columnas, cuando se desea determinar la carga soportada por cada columna.

Se tiene, siendo **R** = 600 y **x** = 1,2 m.

$$\mathbf{F}_1 = \frac{600 \cdot 1{,}20}{3} = 240 \text{ kg};$$

$$\mathbf{F}_2 = 600 - 240 = 360 \text{ kg}.$$

d) *Caso de una fuerza* **R** *que se ha de descomponer en dos, paralelas a la misma, cuyas líneas de acción están situadas a un mismo lado de la fuerza dada.*

Es el caso representado en la fig. IV, 17. Tomando momentos, por ejemplo, respecto a **A,** se tiene:

$$\mathbf{R} \cdot \mathbf{x} = \mathbf{F}_2 \cdot \mathbf{d}$$

de donde,

$$\mathbf{F}_2 = \frac{\mathbf{R} \cdot \mathbf{x}}{\mathbf{d}};$$

evidentemente, se tendrá:

$$\mathbf{F}_1 = \mathbf{F}_2 + \mathbf{R}$$

Por ejemplo, si **R** = 150 kg; **x** = 40 cm; y **d** = 50 cm, se tiene:

$$\mathbf{F}_2 = \frac{\mathbf{R} \cdot \mathbf{x}}{\mathbf{d}} = \frac{150 \cdot 40}{50} = 120 \text{ kg};$$

$$\mathbf{F}_1 = \mathbf{R} + \mathbf{F}_2 = 150 + 120 = 270 \text{ kg}.$$

9. Baricentro

Los cuerpos son pesados. A cada partícula del cuerpo se le puede considerar aplicado su propio peso, que no es más que una fuerza dirigida hacia el centro de la Tierra, es decir, según la vertical. *El peso del cuerpo es precisamente la resultante de todas estas fuerzas paralelas, que son los pesos de las partículas de aquél.* Al punto de aplicación de la resultante antedicha se le denomina **baricentro** o **centro de gravedad.**

Conocida es por la Física la importancia que tiene la situación del centro de gravedad a efectos del equilibrio del cuerpo a que pertenece. Puede decirse en forma resumida que:

a) *Un cuerpo pesado que tenga eje de rotación, está* **en equilibrio** *cuando la vertical del baricentro pasa por el eje de rotación; siendo el equilibrio* **estable, inestable** o **indiferente,** *según que el baricentro esté por debajo, o por encima, o coincida con el eje de rotación.*

b) *Un cuerpo pesado apoyado sobre un plano horizontal, está en equilibrio si la vertical del baricentro cae dentro de la base de sustentación.*

Para muchas otras aplicaciones, de las que hablaremos seguidamente, se necesita saber determinar rápidamente el centro de gravedad de un cuerpo. Mas para dichas aplicaciones basta en general considerar, no ya el caso de un cuerpo de forma cualquiera, sino algunos de los casos más sencillos.

a) *Cuerpo en forma de placa plana, homogénea o no, de forma cualquiera.* Su baricentro puede hallarse experimentalmente colocando la placa apoyada en la punta de un eje vertical y tanteando la posición para la cual queda equilibrada en posición horizontal (fig. IV, 18). En estas condiciones, el punto de apoyo es el baricentro.

b) *Cuerpo en forma de placa plana homogénea, con dos o más ejes de simetría.* El baricentro se hallará situado sobre todos los ejes de simetría, y por tanto, en su intersección (fig. IV, 19).

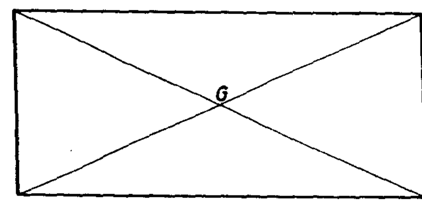


Fig. IV, 19. *El baricentro de un rectángulo (y, en general de un paralelogramo) se halla en la intersección de sus dos diagonales.*

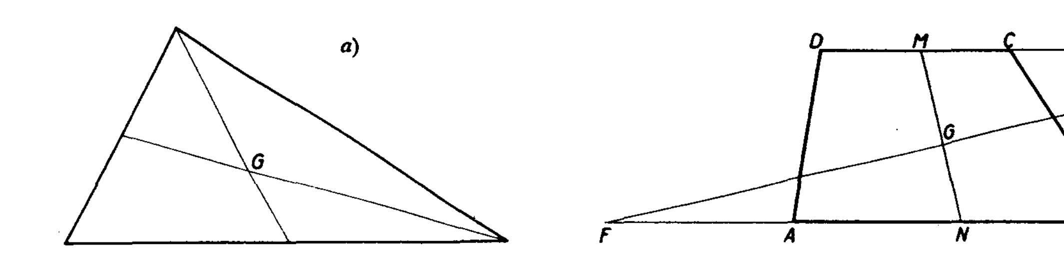


Fig. IV, 20. a) *El baricentro de un triángulo se halla en la intersección de dos medianas.* b) *Determinación del baricentro de un trapecio.*

c) *Sólido de forma cualquiera, pero con un eje de simetría* (es decir, un sólido de revolución). El baricentro se halla situado *sobre el eje de simetría.*

d) *Placa plana homogénea, de forma poligonal, Dividiendo el polígono mediante un segmento en dos partes* **de igual área,** *el baricentro se halla sobre dicho segmento.* Si se determinan dos segmentos que cumplan esta condición, el baricentro se hallará en su intersección. Esta sencilla construcción se aplica, por ejemplo, al *triángulo* (fig. IV, 20 *a*), cuyo baricentro se halla en el punto de intersección de las medianas, al trapecio (fig. IV, 20 *b*), etcétera.

e) *Caso general de una placa plana homogénea.* Se divide el cuerpo en varias partes, de modo que se pueda determinar fácilmente el baricentro y la superficie de cada una de ellas. A cada baricentro se le aplica un vector *proporcional a la superficie de la parte correspondiente,* todos ellos con una misma dirección elegida al azar. Se determina (por ejemplo, mediante el polígono funicular) la resultante del sistema de *vectores paralelos* obtenido: sea ésta $\mathbf{R}_1$ (figura IV, 21).

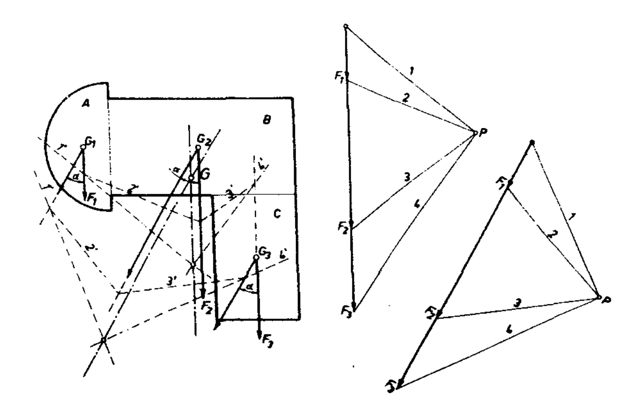


Fig. IV, 21. *Para determinar el baricentro de una figura plana cualquiera, se descompone en partes de forma geométrica, cuyos baricentros se determinen con facilidad (en el caso de las figura, dos rectángulos y un semicírculo). En cada baricentro se aplica un vector de longitud proporcional al área de la parte correspondiente a dicho baricentro* (F_1, F_2, F_3). *Se determina la línea de acción de la resultante (por el polígono funicular). Se da un giro del mismo ángulo a todos los vectores y se determina la nueva línea de acción de la resultante. La intersección de las dos líneas de acción es el baricentro buscado.*

Se da un mismo giro a todos los vectores del sistema y se determina la nueva resultante del sistema. Sea $\mathbf{R}_2$. El punto de intersección de $\mathbf{R}_1$ con $\mathbf{R}_2$ es el baricentro buscado.

10. Fuerza repartida. Presión

En numerosas aplicaciones es preciso manejar *fuerzas que actuando sobre una superficie* (fig. IV, 22), *se reparten sobre ella, dando origen a una* **presión**. Se define la **presión** *como el cociente entre la fuerza solicitante* (supuesta normal a la superficie) *y la propia superficie.* En consecuencia, la superficie vendrá dada normalmente en kg/cm² o kg/m². La unidad correspondiente al sistema Giorgi, newton/m², no se emplea nunca.

Si la fuerza no es normal a la superficie (fig. IV, 23), se considera sólo su componente normal $\mathbf{F}_n$.

Por ejemplo, si una fuerza **F** de 200 kg actúa perpendicularmente a una superficie **S** de 100 cm², la presión es 200 : 100 = 2 kg/cm².

Si la fuerza **F** fuera oblicua, formando un ángulo α de 60° con la normal, $\mathbf{F}_n$ sería **F** cos α y la presión resultante, con los mismos valores de **F** y **S** que en el caso anterior, sería:

$$\mathbf{P} = \frac{\mathbf{F}_n}{\mathbf{S}} = \frac{\mathbf{F}\cos\alpha}{\mathbf{S}} = \frac{200 \cdot 0{,}5}{100} = 1 \text{ kg/cm}^2 = 10.000 \text{ kg/m}^2.$$

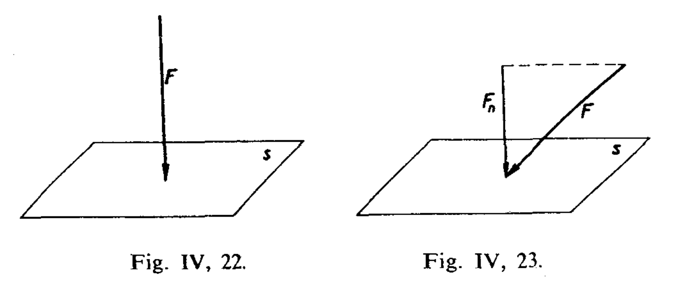


Fig. IV, 22. Fig. IV, 23.

Figs. IV, 22-23. *Fuerza repartida. Si la fuerza no es normal a la superficie, sólo se considera la componente normal* F_n.

11. Repaso de los principios fundamentales de la dinámica

El segundo principio de la dinámica o principio fundamental de la dinámica se puede enunciar en la forma siguiente:

Para que un cuerpo sufra una aceleración, ha de actuar sobre él una fuerza exterior, directamente proporcional a la masa del cuerpo y a la aceleración que ha de producir.

$$\mathbf{F = m \cdot a}$$

La masa del cuerpo, que expresa la cantidad de materia que contiene el mismo, *se mide en kilogramos* (*sistema* **Giorgi**), siendo el kilogramo la masa patrón depositada en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas de Sèvres. En la práctica se determina mediante la balanza.

Ejemplo: Si un cuerpo que pesa 200 kg ha de recibir una aceleración de 0,3 m/seg^2, hay que aplicarle una fuerza **F**, cuya intensidad viene dada por:

$$\mathbf{F = m \cdot a = 200 \cdot 0{,}3 = 60} \text{ newton}$$

Con la misma fórmula podríamos resolver, evidentemente, el problema inverso.

De este principio deducimos varias consecuencias y consideraciones.

Sin la intervención de una fuerza exterior no puede haber aceleración, es decir, **un cuerpo sobre el que no actúa fuerza alguna, se mueve con movimiento rectilíneo uniforme** (principio de inercia).

Se constata en la práctica que, para mantener un cuerpo en movimiento uniforme, es siempre preciso aplicarle una cierta fuerza, aunque *aparentemente* esté completamente libre; sin embargo, no debe esto considerarse como contradictorio a todo lo que acabamos de decir, porque *a un cuerpo en movimiento le son siempre aplicadas unas fuerzas, denominadas* **resistencias pasivas,** *que se oponen al movimiento y le imprimen una aceleración negativa,* hasta producir la detención; por lo cual *si se desea mantener el movimiento rectilíneo uniforme se le debe aplicar una fuerza* **igual y de sentido contrario a la resultante de todas las resistencias.** Si la fuerza aplicada es mayor que la resultante de las resistencias, el cuerpo se acelera; si es menor, se retarda. Si desaparecieran completamente las resistencias pasivas, el cuerpo seguiría en movimiento indefinidamente sin que tuviera que aplicársele fuerza alguna, como se ha comprobado recientemente en los satélites artificiales, que, lanzados fuera de la atmósfera terrestre y apartados completamente de todo origen de resistencias pasivas, seguirán durante años en el espacio sin recibir la aplicación de fuerza propulsora alguna.

Lo mismo ocurre con el movimiento de rotación; *si no fuera por las resistencias pasivas, un cuerpo puesto en rotación seguiría girando indefinidamente;* en este caso, la suma de las resistencias da origen a un **momento resistente,** para vencer al cual se precisa la aplicación de un **momento motor** (por medio de una fuerza o de un par); según que el momento motor sea mayor o menor que el resistente, el movimiento es acelerado o retardado hasta alcanzar el **equilibrio dinámico,** en el cual **el momento motor es igual al momento resistente**. Estas condiciones están siempre reunidas en todas las máquinas de funcionamiento continuo.

12. Repaso del tercer principio de la dinámica

Este principio se denomina de la *acción y reacción* o *de Newton,* y se enuncia generalmente diciendo que: **a toda acción corresponde una reacción igual y de signo contrario.** Es por ello que un cuerpo pesado, apoyado sobre un plano horizontal, está en equilibrio porque el plano reacciona, es decir, presenta una fuerza, igual y de sentido contrario al peso del cuerpo. Si un cuerpo se apoya sobre un resorte, o si se ejerce una fuerza sobre éste, se deforma dando origen a una reacción igual y de signo contrario a la fuerza aplicada; la deformación va aumentando gradualmente hasta que la reacción, que origina dicha deformación, es **exactamente** *igual y de signo contrario a la fuerza ejercida.* En el caso de una viga apoyada en dos soportes **A** y **B** (fig. IV, 24), cada uno da una **reacción** $\mathbf{R}_A$ y $\mathbf{R}_B$; y ambas reacciones, compuestas entre sí, *dan por resultante* **R** *una fuerza igual y de sentido contrario a la carga* **F** *de la viga.* Éste es el concepto que se aplica al determinar las reacciones de los apoyos, descomponiendo previamente la fuerza cargada, siguiendo las reglas normales de la descomposición de fuerzas (n.° 8 *c*).

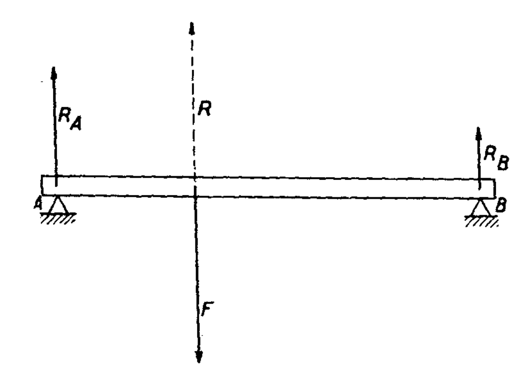


Fig. IV, 24. *Reacciones de los apoyos de una viga.*

Los conceptos que acabamos de indicar son importantísimos para los dibujantes, que los aplicarán para calcular de forma sencilla las dimensiones de armazones y estructuras. El cálculo de órganos más importantes sale ya del campo del dibujante.

13. Consideraciones sobre la fuerza centrífuga

Debemos tratar aquí de una importante consecuencia del principio de la acción y reacción. Dijimos en el n.° 5 que cuando un cuerpo se mueve con movimiento de rotación está sujeto a una *acele-*

ración centrípeta $\mathbf{a}_c$, que produce la continua variación de dirección de su velocidad, y cuyo valor es $\mathbf{V}^2/\mathbf{r}$, siendo **V** la velocidad periférica y **r** el radio de curvatura de la trayectoria.

Ahora, tratándose de una aceleración, según el segundo principio de la dinámica existirá también una fuerza, llamada **fuerza centrípeta** $\mathbf{F}_c$, *de valor igual al producto de la aceleración centrípeta por la masa del cuerpo;* es decir, recordando la relación entre velocidad periférica **V** y velocidad angular ω:

$$\mathbf{F}_c = \mathbf{m} \cdot \mathbf{a}_c = \mathbf{m}\frac{\mathbf{V}^2}{\mathbf{r}} = \mathbf{m}\omega^2\mathbf{r}.$$

De acuerdo con el tercer principio de la dinámica, *a la fuerza centrípeta le corresponde una fuerza del mismo valor y dirección, pero de sentido contrario, llamada* **fuerza centrífuga.**

La consideración de esta fuerza tiene enorme importancia en la mecánica aplicada, porque *actúa sobre los cuerpos en rotación, tendiendo a separar las masas del eje de rotación, es decir, tendiendo a descomponer el cuerpo que gira.* De aquí nacen algunos problemas, que pueden no ser indiferentes, en el cálculo de las dimensiones de las piezas giratorias.

Debido a su importancia es necesario hacer algunas otras consideraciones sobre la fuerza centrífuga, desde el punto de vista que interesa al dibujante.

Ante todo, el hecho de que *ésta sea proporcional al* **cuadrado** *de la velocidad angular*, da a comprender que los problemas relativos a la fuerza centrífuga que se presenten en el cálculo, tendrán tanta mayor gravedad *cuanto mayor sea el número de vueltas en la unidad de tiempo;* doblando la velocidad, la fuerza centrífuga se hace cuatro veces mayor; cuadruplicándola, dieciséis veces mayor, y así sucesivamente. Pasando, por ejemplo, el número de revoluciones por minuto de 100 a 400, la fuerza centrífuga que aparece en un cuerpo dado se hace dieciséis veces mayor.

En cambio, *el radio de la trayectoria interviene con proporcionalidad simple:* es decir, a igualdad de velocidad angular, a doble radio del cuerpo, le corresponde doble fuerza centrífuga.

Cuanto precede explica por qué las máquinas rotativas veloces (turboalternadores, por ejemplo), se proyectan con partes giratorias de pequeño diámetro; mientras que las máquinas lentas (por ejemplo, los rotores de alternadores de 12 ó 16 polos) pueden tener, sin inconveniente, diámetros muchos mayores.

Por ejemplo, la fuerza centrífuga que aparece en un cuerpo de 10 kg de masa, que gira con una velocidad periférica de 4 m/s, con un radio de giro de 2 m resulta:

$$\mathbf{F}_c = \frac{\mathbf{m} \cdot \mathbf{V}^2}{\mathbf{r}} = \frac{100 \cdot 4^2}{2} = 800\,\mathbf{kg};$$

si la velocidad pasase de 4 a 8 m/seg, es decir, se *duplicase*, la fuerza centrífuga se haría *cuatro* veces mayor, pasando a 3200 kg; en cambio, si se doblara el radio, manteniéndose constante la velocidad periférica, la fuerza centrífuga se reduciría a la mitad, disminuyendo hasta 400 kg.

14. Repaso de los conceptos de trabajo y potencia

Las magnitudes **trabajo** y **potencia** están definidas por la Física. Es necesario que los dibujantes tengan ideas muy claras sobre estos puntos tan importantes, por lo que vamos a recordar los puntos fundamentales.

En líneas generales, dada una fuerza **F** que se desplaza a lo largo de su dirección, *se define el trabajo realizado por ella como el producto de la fuerza por el desplazamiento* **s** *según su dirección* (fig. IV, 25). En el caso de que el desplazamiento tenga lugar según una dirección cualquiera, *deberá efectuarse el producto de la fuerza por la proyección* $\mathbf{s}_1$ *del desplazamiento,* sobre la dirección de la fuerza (fig. IV, 26); o bien (el resultado es el mismo), *el producto del desplazamiento* **s** *por la componente* $\mathbf{F}_1$ *de la fuerza en la dirección del desplazamiento* (fig. IV, 27). En general,

$$\mathbf{T} = \mathbf{F} \times \mathbf{s}$$

Si la *fuerza se mide en* **newtons** (sistema Giorgi) y *el desplazamiento en metros, el trabajo resulta expresado en* **julios;** *si la fuerza se mide en* **kilogramos** *y el desplazamiento en* **metros,** *el trabajo queda expresado en* **kilográmetros.**

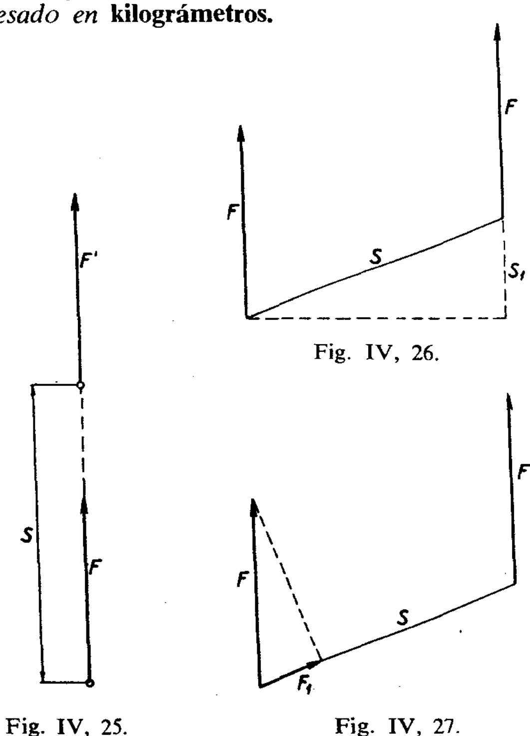


Fig. IV, 25. *Una fuerza* F, *que se mueve en el sentido de su dirección a la distancia* s, *efectúa un trabajo* F · s.
Fig. IV, 26. *Si el movimiento de la fuerza no sigue su dirección, el trabajo resultante es el producto de la fuerza por la proyección del movimiento sobre la dirección de la fuerza.*
Fig. IV, 27. *Si el movimiento no sigue la dirección de la fuerza, puede también calcularse el trabajo multiplicando la trayectoria por la proyección de la fuerza sobre la misma.*

Por ejemplo, si el ángulo α formado por **F** y **s** es de 60°, y el desplazamiento s es de 5 metros, siendo **F** = 200 kg, tenemos (fig. IV. 27):

$$T = F_1 \cdot s = F \cos \alpha \cdot s = 200 \cdot 0{,}5 \cdot 5 = 500 \text{ kgm};$$

o bien (fig. IV, 26):

$$T = F \cdot s_1 = F \cdot s \cos \alpha = 200 \cdot 5 \cdot 0{,}5 = 500 \text{ kgm}.$$

En el trabajo no interviene el factor tiempo; el cual, en cambio, es esencial en las aplicaciones. Por ello se define la **potencia** (media) *como el cociente entre el trabajo efectuado y el tiempo empleado para realizarlo:*

$$P = \frac{T}{t}.$$

Las unidades con que se mide habitualmente la potencia son el **watio**, el **kilowatio** y el **caballo de vapor.** El **watio (W)** *corresponde a un julio por segundo;* el **kilowatio** *corresponde a 1000 julios por segundo;* el **caballo de vapor (CV)** *corresponde a 75 kilográmetros por segundo;* en consecuencia, siendo el kilográmetro igual a 9,8 julios, se tiene la relación:

$$1 \text{ CV} = 735 \text{ W} = 0{,}735 \text{ kW}$$

La unidad CV debería abolirse como consecuencia de las deliberaciones internacionales que establecieron que el watio y sus múltiplos son las únicas unidades de potencia que se han de utilizar; sin embargo, está muy arraigada por el uso, especialmente en el campo de la mecánica.

Puesto que el trabajo es igual al producto de la fuerza por el desplazamiento, sustituyendo, en la definición de potencia, el trabajo por el producto **F · s** teniendo en cuenta que **s/t** es la velocidad media, se obtiene:

$$P = \frac{T}{t} = \frac{Fs}{t} = Fv.$$

La potencia queda completamente determinada por el producto de la fuerza por la velocidad.

Por ejemplo, ¿cuál es la potencia necesaria para que una fuerza **F** de 100 kg recorra el espacio **s** de 500 m, a lo largo de su línea de acción en 10 segundos?

Se tiene:

$$P = \frac{T}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = \frac{100 \cdot 500}{10} = 5000 \text{ kgm/sec.}$$

En CV, tendremos. $= \frac{5000}{75} \cong 66{,}6$ CV.

En **W**, resultará, $P = 66{,}6 \cdot 735 \simeq 49\,000$ W que equivalen a 49 kW.

En el caso de un cuerpo giratorio, si **F** es la fuerza tangencial aplicada y **V** la velocidad periférica del punto de aplicación de la fuerza, la potencia resulta, por todo lo dicho:

$$P = F \cdot v = F \cdot 2\pi nr = M\omega$$

En consecuencia, para un cuerpo en rotación, **la potencia es igual al momento de la fuerza tangencial** *(o del par aplicado)* **por la velocidad angular.** Si el momento viene dado en newton-metros, la potencia resulta expresada en watios; si, como ocurre normalmente en mecánica, **M** está dado en kilogramo, se divide **M** por 75 y se tiene la potencia en caballos:

$$P = \frac{M\omega}{75} = \frac{M2\pi n}{75}.$$

Muchas veces, para mayor simplicidad, se efectúa de una vez el cálculo numérico, hallando:

$$\frac{2\pi n}{75} = 0{,}084\, n$$

obteniendo así,

$$P = 0{,}084\ M_n$$

donde, repetimos, la potencia está expresada en caballos, el momento en metros-kilogramo y la frecuencia en revoluciones por segundo.

Esto adquiere suma importancia para el dibujante, en el cálculo de órganos mecánicos sencillos.

Debemos llamar particularmente la atención sobre el hecho de que, *siendo la potencia proporcional al producto* M_n o F_v, **se pueden conseguir grandes potencias tanto con una fuerza pequeña** (o momento pequeño) **y una gran velocidad, como con grandes fuerzas y velocidades pequeñas.** En las máquinas más antiguas hallamos siempre velocidades moderadas y esfuerzos considerables y, como consecuencia, grandes masas de material constituyente a fin de que pudieran resistir tales esfuerzos; en las máquinas modernas, por el contrario, se tiende a emplear fuerzas pequeñas y velocidades elevadas; se tienen así máquinas pequeñas y ligeras.

Por ejemplo, la potencia desarrollada por un cilindro giratorio de 500 mm de diámetro, cuando la fuerza tangencial es **F** = 80 kg y **n** es de 20 r.p.s., vale

$$P = 0{,}084\, M \cdot n = 0{,}084\, Frn = 0{,}084 \cdot 80 \cdot 0{,}250 \cdot 20 = 33{,}6 \text{ CV.}$$

Se obtendría la misma potencia si, por ejemplo, se redujera el número de revoluciones a un cuarto de su valor y al mismo tiempo se cuadruplicase la fuerza aplicada.

$$P = 0{,}084 \cdot 320 \cdot 0{,}250 \cdot 5 = 33{,}6 \text{ CV.}$$

15. Energia y sus transformaciones. Rendimiento

Con el término general **energía** *se indica la capacidad de efectuar un trabajo.* Por tanto, una cantidad de gasolina posee energía, puesto que, alimentando con ella un motor de explosión, puede dar trabajo; también posee energía una pila eléctrica, porque puede suministrar corriente y efectuar trabajo, etcétera.

En la naturaleza existen numerosas clases de energía, llamadas energía eléctrica, química, térmica, acústica, etc. *Todas ellas no son más que distintas formas de una misma magnitud física, la* **energía.**

Ésta se mide **en unidades de trabajo**. Conviene aclarar inmediatamente, para evitar errores, que **la energía no se puede medir jamás directamente,** *sino tan sólo a través del trabajo que puede desarrollar.*

En líneas generales, **cualquier forma de energía se puede transformar en otra** *según la necesidad;* por ejemplo, oprimiendo el botón del claxon, se transforma la energía eléctrica de la batería en energía acústica (en rigor se debería decir en *trabajo acústico*). Ahora bien, en todas las transformaciones ordinarias de energía en trabajo *(excluyendo tan sólo las transformaciones nucleares o atómicas)* rige **el principio universal de la conservación de la energía,** según el cual, *dada una cierta cantidad de energía, es posible transformarla, obteniendo, al final de la transformación, una energía de otra clase, en una cantidad tal que* **la suma de las diversas cantidades de energía** (o trabajo) **obtenidas resulte igual a la cantidad inicial.**

Sin embargo, al principio de la conservación de la energía se le ha de añadir inmediatamente el **principio de la degradación de la energía,** que indica *la forma en que* **realmente** *tienen lugar las transformaciones de energía.* Cuando una cantidad inicial de energía se ha de transformar en una clase distinta, *la cantidad de energía que se obtiene en la forma deseada es siempre* **inferior** *a la inicial, apareciendo siempre una cantidad mayor o menor de energía en forma indeseada* **(térmica)** *y siempre perjudicial* (si no por otros motivos, por la pérdida que representa). **La relación entre la cantidad de energía conseguida en la forma deseada y la inicial, se llama rendimiento de la transformación.**

Resumiendo: Dada una cantidad **A** de energía, puede transformarse en otras formas, en cantidades **B**, **C**, **D**, etcétera.

Se tiene:

$$\mathbf{A} = \mathbf{B} + \mathbf{C} + \mathbf{D} + etc. \quad \textit{(Principio de la conservación de la energía);}$$

suponiendo que la forma de energía deseada sea **B**,

$$\mathbf{B} < \mathbf{A}$$

$$\textbf{Rendimiento} = \frac{\mathbf{B}}{\mathbf{A}}$$

Por su propia definición, el rendimiento es siempre inferior a *la unidad.*

Una de las diversas formas de energía es la llamada energía **mecánica**. Se compone de dos partes, denominadas, respectivamente, **energía cinética** y **energía potencial.**

Energía cinética es la que posee un cuerpo pesado por el hecho de estar en movimiento; su expresión es:

$$\mathbf{W_c} = \frac{1}{2}\,\mathbf{mV^2},$$

siendo **m** la masa del cuerpo y **V** su velocidad, y es igual al trabajo efectuado por la fuerza **F**, que se ha tenido que aplicar al cuerpo para imprimirle la velocidad **V**. En efecto, bajo la acción de la fuerza constante **F**, el cuerpo se mueve con movimiento uniformemente acelerado, de aceleración $\mathbf{a} = \mathbf{F}/\mathbf{m}$, y antes de alcanzar la velocidad **V** recorre un espacio $\mathbf{s} = \frac{1}{2}\mathbf{a}\,\mathbf{t}^2$. El trabajo viene, pues, dado por

$$\mathbf{F} \cdot \mathbf{s} = \mathbf{ma} \cdot \frac{1}{2}\,\mathbf{at^2} = \frac{1}{2}\,\mathbf{m(at)^2} = \frac{1}{2}\,\mathbf{mV^2} = \mathbf{W_c}\,.$$

Por ejemplo, un cuerpo de 100 kg que se mueve con velocidad $\mathbf{V} = 2$ m/seg posee una energía cinética:

$$\mathbf{W_c} = \frac{1}{2}\,\mathbf{mV^2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{100}{9{,}8} \cdot 2^2 \cong 20{,}4 \text{ kgm}$$

empleando unidades del sistema técnico. Si empleamos unidades del sistema Giorgi, tendremos:

$$\mathbf{W_c} = \frac{1}{2}\,\mathbf{mV^2} = \frac{1}{2}\,100 \cdot 2^2 = 2000 \text{ newton.}$$

La otra forma de energía mecánica es la *energía potencial, que está presente en el sistema formado por la Tierra y un cuerpo,* cuando éste se halla en posición elevada respecto al suelo. Es por tanto impropio hablar de la energía potencial que posee un cuerpo, puesto que, en realidad, esta energía depende de la posición relativa entre el cuerpo y la Tierra. Energía de esta clase es la acumulada en los embalses hidroeléctricos, empleados para la producción de energía eléctrica.

Llamando **P** al peso del cuerpo en posición elevada y **H** a su altura respecto al suelo, la energía potencial correspondiente es:

$$\mathbf{W_p} = \mathbf{P} \cdot \mathbf{H}$$

Por ejemplo, cuando un cuerpo de 100 kg se encuentra a 5 metros del suelo, se dispone de una energía potencial

$$\mathbf{W_p} = \mathbf{P} \cdot \mathbf{H} = 100 \cdot 5 = 500 \text{ kgm}$$

La energía mecánica es la suma de estas dos formas de energía.

Por ejemplo, si el cuerpo cuya energía cinética hemos calculado, se moviese manteniendo constante su altura a 5 metros respecto al suelo, dispondríamos de una energía mecánica igual a la suma de las energías cinética y potencial ya calculadas, es decir, 20,4 + 500 = 520,4 kgm.

Estas definiciones y consideraciones tienen gran importancia en mecánica aplicada, es decir, para cálculo de volantes, mazos y martillos, y también en resistencia de materiales, donde se aplican continuamente los momentos de inercia, concepto que aparece precisamente al considerar la energía cinética de una masa giratoria, como veremos en los capítulos siguientes.

Si el movimiento fuese de rotación, recordando que la velocidad periférica **V** es igual a $\omega\mathbf{r}$, siendo ω la velocidad angular y **r** el radio de curvatura de la trayectoria, tendremos:

$$\mathbf{W_c} = \frac{1}{2}\,\mathbf{m}\omega^2\mathbf{r}\,.$$

Capítulo III

NOCIONES DE MECÁNICA APLICADA RESISTENCIAS PASIVAS

16. Generalidades

En toda máquina, los órganos en movimiento son siempre causa de pérdidas de energía, de modo que, tal como dijimos anteriormente, *el trabajo útil que se obtiene es siempre inferior al trabajo motor* consumido para mantener la máquina en marcha. Hemos dicho que *el rendimiento definido como la relación entre el trabajo útil y el trabajo motor es tanto más próximo a la unidad* (100 %) *cuanto menores sean las pérdidas de energía que tengan lugar.*

Puesto que evidentemente se tiene el mayor interés en acercarse lo más posible al rendimiento máximo, es necesario estudiar, breve pero atentamente las causas de las pérdidas de energía y el modo de evitarlas.

Estas causas se llaman generalmente **resistencias pasivas** y pueden dividirse en dos categorías principales:

a) **rozamiento;**

b) **resistencia del medio** (aire, agua, aceite, etcétera) en el que se produce el movimiento.

Existe una tercera categoría, *la imperfecta flexibilidad de los órganos de transmisión que debieran ser en teoría perfectamente flexibles,* como cadenas, cuerdas, correas; lo cual produce también pérdidas de energía en las máquinas en que se emplean dichos órganos.

Fig. IV, 28 *a.*

17. Rozamiento

Es una fuerza que se opone al movimiento de un cuerpo en contacto con otro. Esta resistencia aparece en la superficie de contacto de dos cuerpos y se atribuye a la aspereza e irregularidad inevitables de las superficies de contacto, pudiendo ser:

a) **frotamiento** *(o de primera especie); aparece cuando un cuerpo sólido resbala o desliza sobre otro* (por ejemplo, el pistón de un motor que se desliza sobre la camisa del cilindro) (fig. IV, 28 *a*).

b) **rodadura** *(o de segunda especie);* aparece cuando un cuerpo sólido, de forma cilíndrica, por ejemplo, rueda, sin resbalar, sobre otro, como una rueda sobre carril (fig. IV, 28 *b*).

c) **de los gorrones.** En las máquinas (fig. VI, 29), *cuando un gorrón* (extremidad de un árbol de transmisión) *gira resbalando sobre su propio cojinete, aparece un rozamiento, llamado* **de gorrones,** parecido al rozamiento de frotamiento.

Rozamiento de frotamiento. Las leyes que sigue este tipo de rozamiento, aprendidas ya en el curso de Física, se han obtenido de la experiencia, pudiendo enunciarse así:

a) *El rozamiento* **R** *es directamente proporcional a la presión normal* $\mathbf{P}_n$ *que el cuerpo en movimiento ejerce sobre la superficie.* En consecuencia, si sobre un cuerpo apoyado sobre una superficie se ejerce una fuerza (*presión*) **F**, sólo se debe tener en cuenta, a efectos del rozamiento, *la componente* $\mathbf{P}_n$, *normal a la superficie* (fig. IV, 30).

Podemos escribir, por tanto:

$$\mathbf{R} = \mathrm{f}\ \mathbf{P}_n$$

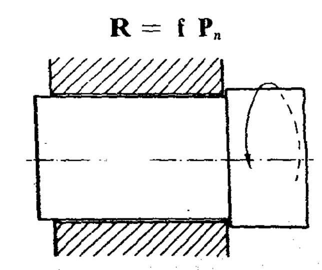


Fig. IV, 29. *Rozamiento en los gorrones.*

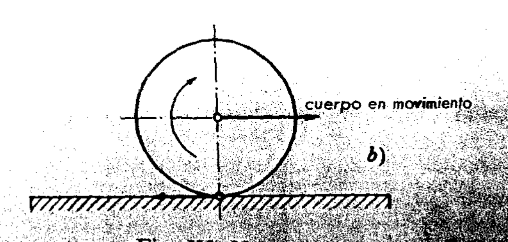


Fig. IV, 28 b.

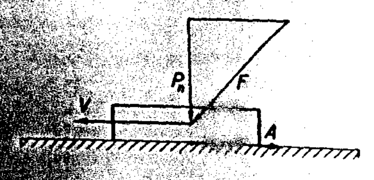


Fig. IV, 28. a) *Un cuerpo que resbala sobre otro cuerpo está sujeto a una resistencia de rozamiento. b) Un cuerpo que rueda sobre otro encuentra una resistencia de rodadura.*

Fig. IV, 30. *El rozamiento es el producto de la* componente de la carga normal a la superficie de apoyo.

donde f es un número llamado **coeficiente de rozamiento.**

b) *El rozamiento es independiente del área de la superficie de contacto entre el cuerpo en movimiento y la superficie de apoyo* (siempre que el contacto no se reduzca a un punto o a un segmento, como sería el caso de apoyo sobre una aguja o filo, en el cual intervienen otros fenómenos).

c) *La resistencia de rozamiento es independiente,* dentro de ciertos límites, *de la velocidad del cuerpo en movimiento.*

Las limitaciones son que *la velocidad no debe ser excesivamente pequeña* (por ejemplo, si el cuerpo está quieto, o poniéndose lentamente en marcha, el rozamiento es mucho mayor, como se verá dentro de poco); *por el contrario, si la velocidad es elevada* (por encima de los 20 m/s), *el rozamiento disminuye.*

d) *El rozamiento depende principalmente de la naturaleza de las superficies en contacto, y de su estado* (secas, húmedas, engrasadas, etc.).

Para hacerse cargo de modo más claro del significado del coeficiente de rozamiento, consideremos el cuerpo situado sobre un plano inclinado de pendiente α variable que se hace aumentar gradualmente; se llegará a un ángulo φ *para el cual el cuerpo (supuesto ya en movimiento) descenderá por sí solo a velocidad constante por el plano, con movimiento uniforme.* Esto quiere decir que, en tales condiciones, *la componente del peso paralela al plano es igual y de signo contrario a la resistencia de rozamiento.* Examinando la figura IV, 31, se comprueba inmediatamente que la mencionada componente del peso, expresada en función de $\mathbf{P}_n$ es:

$$\mathbf{P}_l = \mathbf{P}_n \frac{\mathbf{h}}{\mathbf{b}}.$$

Igualándola con la fuerza de rozamiento tenemos:

$$\mathbf{P}_n \frac{\mathbf{h}}{\mathbf{b}} = \mathbf{fP}_n$$

y en consecuencia, *recordando la definición de tangente trigonométrica de un ángulo* φ, *resulta:*

$$\mathbf{f} = \frac{\mathbf{h}}{\mathbf{b}} = \mathbf{tg}\,\varphi,$$

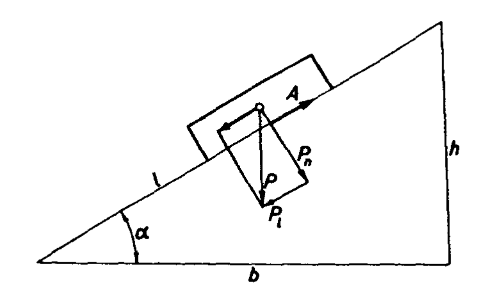


Fig. IV, 31. *Plano inclinado.*

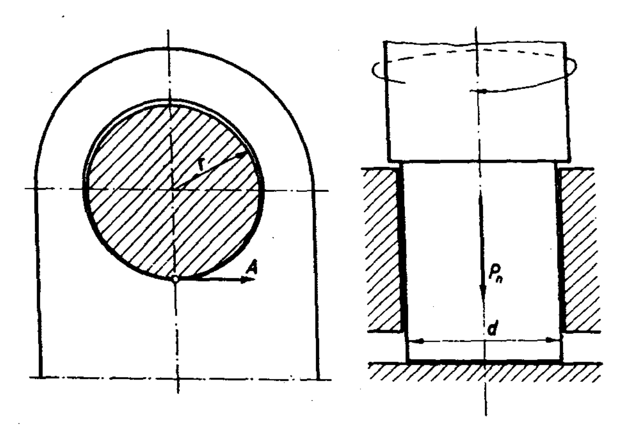


Fig. IV, 32. *Gorrón.* Fig. IV, 33. *Pivote.*

es decir, **el coeficiente de rozamiento es igual a la tangente trigonométrica del ángulo** φ *con que se ha de inclinar con respecto a la horizontal el plano sobre el que desliza el cuerpo, para que éste continúe descendiendo espontáneamente, con movimiento uniforme.*

Es necesario considerar el cuerpo ya en movimiento sobre el plano, porque la fuerza necesaria para ponerlo en marcha, estando quieto, es mayor, a veces *mucho* mayor, que la resistencia normal de rozamiento que aparece en el movimiento del cuerpo sobre el plano. En efecto, como hemos dicho ya, si el cuerpo está en reposo o iniciando lentamente el movimiento, el rozamiento es mucho mayor, llamándose en este caso **rozamiento estático.**

Rozamiento de rodadura. Este rozamiento, llamado también resistencia a la rodadura, sigue las mismas leyes que el rozamiento de frotamiento; se demuestra además experimentalmente que *es inversamente proporcional al radio del cuerpo rodante;* es decir, cuanto mayor es el radio, más pequeño es el rozamiento de rodadura y viceversa. Por este motivo, cuando se quiere disminuir la resistencia a la rodadura (por ejemplo en carros, automóviles, etc.) las ruedas se construyen de radio grande; y cuando se quiere aumentarla (por ejemplo, en los motoscooters) las ruedas se proyectan con radio pequeño.

Rozamiento de gorrones. Como hemos dicho, es éste una especie de rozamiento de frotamiento que aparece tanto en los gorrones como en los pivotes (figs. IV, 32, 33).

En los **gorrones radiales** la existencia de una resistencia de rozamiento de valor **fP** exige un suple-

Nota. El hecho de que la resistencia de rozamiento sea independiente de la velocidad dentro de los límites indicados, no ha de hacer caer al lector en el error (que se comete a veces) de *confundir la fuerza de rozamiento con la potencia necesaria para vencerlo. La resistencia de rozamiento* **R** *es* **constante;** *pero la potencia necesaria para mover el cuerpo a la velocidad* **V** (variable) *es en cada instante* **directamente proporcional a dicha velocidad,** *como se intuye y deduce lógicamente de* **P** = **RV** (véase n.° 14).

mento del par motor $\mathbf{M} = \mathbf{fP}_n\mathbf{r}$, siendo **r** el radio del gorrón, correspondiendo a tal momento una potencia que se calcula de la forma conocida.

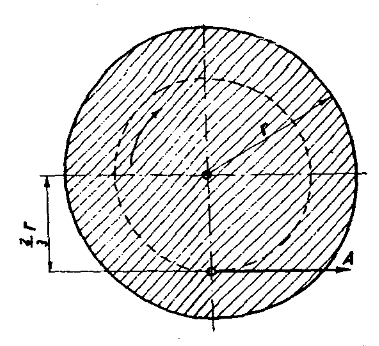


Fig. IV, 34. *En los quicios la resistencia de rozamiento actúa sobre una circunferencia concéntrica, de radio igual a 2/3 del radio del pivote.*

En los **quicios** o **pivotes** la presión se ejerce sobre la *quicionera* (cojinete de la base) según el eje de rotación. *La base del pivote puede ser plana y horizontal; en este caso la presión se reparte por toda la base y se puede considerar que la resistencia de rozamiento actúa tangencialmente a una circunferencia de radio igual a 2/3 del radio del pivote* (fig. IV, 34). Si, por el contrario, la base del gorrón tiene forma de corona circular (fig. IV, 35), se consiguen mejores resultados; pudiéndose considerar aplicada la resistencia a una circunferencia de radio $\frac{\mathbf{r}_e = \mathbf{r}_i}{2}$. Como que en ambos casos la potencia perdida (par × velocidad) en los quicios es proporcional a su diámetro, para reducirla se puede dar a los quicios la forma de casquete esférico (fig. IV, 36).

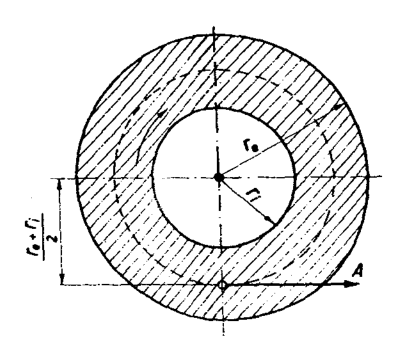


Fig. IV, 35. *En los quicios con apoyo anular, el rozamiento actúa según una circunferencia de radio* $(r_e + r_i)/2$.

A igualdad de características, se observa que el rozamiento de rodadura es mucho menor que el de frotamiento, lo que explica el uso de rodillos y ruedas para el transporte de masas pesadas. La experiencia ordinaria demuestra que *el coeficiente de rozamiento disminuye muy apreciablemente si las superficies de contacto están* **lubricadas** *cuidadosamente*, es decir, si se interpone una capa de una sustancia adecuada, que puede ser, según los casos, aceite, vaselina, grasas o, a veces, grafito.

El mecanismo de la lubricación es en realidad bastante complicado; pero en primera aproximación podemos decir que con la presencia del lubricante *se evita el contacto directo entre el cuerpo en movimiento y la superficie sobre la que se desliza.*

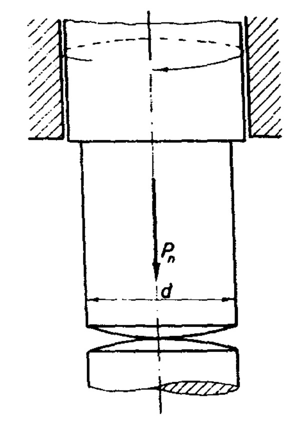


Fig. IV, 36. *Pivote con apoyo de casquete esférico.*

Cuando el lubricante es fluido, se encarga además de *la dispersión del calor que se desarrolla como consecuencia del trabajo perdido por rozamiento* en las superficies de contacto.

Varios son los sistemas para conseguir una lubricación continua y automática. En la segunda parte les dedicamos varias figuras. Por ahora señalemos los sistemas más empleados.

a) *Mediante engrasadores.* La grasa se comprime en un recipiente adecuado (fig. IV, 37 *a*) atornillando la tapa, y atraviesa un pequeño canal, distribuyéndose sobre la superficie que se ha de lubricar.

b) *Mediante aceitera con mecha.* El aceite del recipiente (fig. IV, 37 *b*) corre, por capilaridad, a lo largo de una mecha de algodón, llegando así a la superficie que se ha de lubricar.

c) *Lubricación por anillos* (fig. IV, 38). Rodeando el árbol **A** a lubricar se encuentran uno o dos *anillos* **An** que recogen el aceite de un recipiente **C** situado debajo (llamado *cárter de aceite*). Al girar, el árbol arrastra lentamente el anillo, transportando así mecánicamente el aceite necesario para la lubricación, al lugar adecuado, desde el cual se distribuye por la superficie a lubricar por medio de una adecuada red de canalillos.

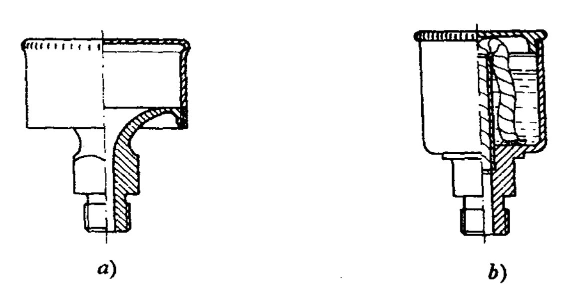


Fig. IV, 37. a) *Engrasador.* b) *Aceitera de mecha.*

d) *Lubricación forzada.* Por medio de una bomba adecuada, el aceite de un recipiente se vierte o pulveriza sobre la superficie a lubricar, cayendo luego de nuevo al recipiente, con lo que se cierra el ciclo.

En la tabla siguiente se indican los valores del coeficiente de rozamiento en los casos de más interés para el mecánico (tomados del *Manual del Ingeniero*, de Colombo).

Coeficiente dinámico K de rozamiento de frotamiento durante el movimiento

Naturaleza de los cuerpos en contacto	Estado de las superficies (lisas)								
	Secas			Húmedas			Lubricadas		
	Máx.	Med.	Mín.	Máx.	Med.	Mín.	Máx.	Med.	Mín.
Metal sobre metal	0,50	0,20	0,15	0,30	0,15	0,10	0,13	0,07	0,05
Madera sobre madera	0,50	0,36	0,19	—	0,25	—	0,16	0,11	0,06
Metal sobre madera	0,60	0,37	0,19	—	0,21	0,10	0,16	0,10	0,06
Cuero sobre madera o metal	0,60	0,40	0,25	—	—	—	0,30	0,20	0,15
Caucho sobre madera o metal	0,80	0,60	0,50	—	—	—	—	—	—
Cuerda sobre madera o metal	0,50	0,40	0,30	0,40	0,35	0,30	—	—	—

En lo que respecta al rozamiento de los gorrones, para reducirlo al mínimo se procura *sustituir el rozamiento de frotamiento de los cojinetes de deslizamiento por el rozamiento de rodadura de los cojinetes de bolas y de rodillos*, a los que hemos dedicado un capítulo en la segunda parte.

Ahora es preciso caer en la cuenta de que **no siempre el rozamiento es perjudicial.** Aparte de que, si no fuera por el rozamiento, no se podría desarrollar en el mundo una vida análoga a la actual (no se podría andar, los vehículos no podrían moverse sobre las carreteras, carriles, etc.), *el rozamiento tiene directamente muchas aplicaciones técnicas*, como los frenos de vehículos, frenos de medición de potencia de motores, embragues de fricción, transmisiones por correa y por cable, etc. A tales aplicaciones destinamos un capítulo de la **II** parte.

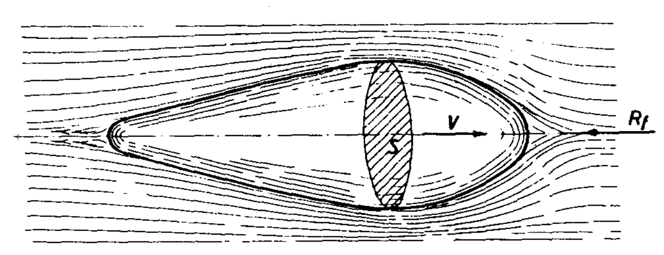


Fig. IV, 39. *La resistencia del medio es proporcional al cuadrado de la velocidad, a la sección transversal del sólido en movimiento (normal al movimiento) y depende de la forma del cuerpo, de la naturaleza de su superficie y de la naturaleza y de las condiciones del fluido.*

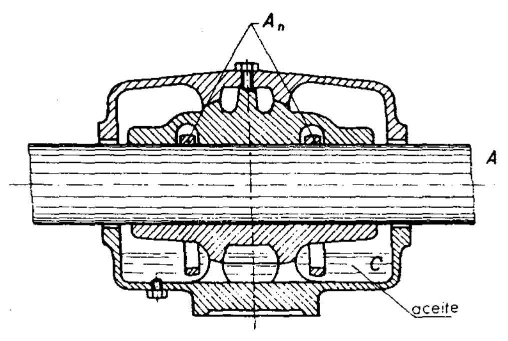


Fig. IV, 38. *Lubricación con anillos.*

18. Resistencia del medio

La experiencia demuestra que un cuerpo sólido que se mueve con velocidad **V** (fig. IV, 39) en el seno de un fluido encuentra una resistencia que es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad y a la sección máxima **S** del sólido, perpendicular a la dirección del movimiento. El coeficiente **K** de proporcionalidad depende de la forma, naturaleza y estado de la superficie exterior (aspereza, etc.) del cuerpo, así como de la naturaleza y estado del fluido.

La resistencia del medio puede, por tanto, expresarse por la fórmula:

$$\mathbf{R = KSV^2}$$

Los valores del coeficiente **K** se deducen experimentalmente, siendo tabulados en los manuales técnicos los correspondientes a los casos más frecuentes.

Diremos aquí solamente que cuando se desea disminuir la resistencia del medio se estudian para el cuerpo en movimiento formas adecuadas para las grandes velocidades llamadas formas *aerodinámicas* o *electrodinámicas*. Un estudio de esta clase es naturalmente muy complejo y difícil y lo llevan a cabo especialistas en la materia.

MOMENTOS DE INERCIA

19. Momentos de inercia de la masa

Si una masa **m** gira a la distancia **r** de su eje de rotación (fig. IV, 40) su energía cinética es $\frac{1}{2}\mathbf{m\omega^2r^2}$ siendo ω su velocidad angular (véase n.° 16).

Si un cuerpo está compuesto de varias partes de masas $\mathbf{m_1}$, $\mathbf{m_2}$, $\mathbf{m_3}$, $\mathbf{m_4}$, etc., respectivamente a las distancias $\mathbf{r_1}$, $\mathbf{r_2}$, $\mathbf{r_3}$, $\mathbf{r_4}$, etc., *la energía cinética* **W** *del*

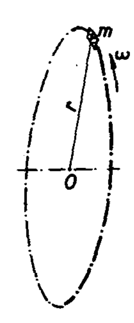


Fig. IV, 40. *Momento de inercia de una masa puntiforme.*

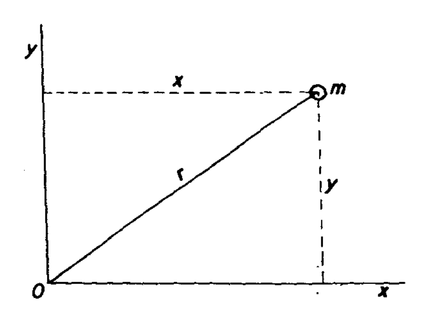


Fig. IV, 41. *Momento de inercia polar de una masa puntiforme.*

cuerpo completo es igual a la suma de las energías cinéticas parciales, es decir:

$$\mathbf{W} = \frac{1}{2}\,\mathbf{m}_1\omega^2\mathbf{r}_1^2 + \frac{1}{2}\,\mathbf{m}_2\omega^2\mathbf{r}_2^2 + \frac{1}{2}\,\mathbf{m}_3\omega^2\mathbf{r}_3^2 +$$

$$+ \frac{1}{2}\,\mathbf{m}_4\omega^2\mathbf{r}_4^2 + \text{ etc.}$$

o también:

$$\mathbf{W} = \frac{1}{2}\,\omega^2(\mathbf{m}_1\mathbf{r}_1^2 + \mathbf{m}_2\mathbf{r}_2^2 + \mathbf{m}_3\mathbf{r}_3^2 + \ldots)\,.$$

La expresión entre paréntesis, **que representa la masa que girando con la misma velocidad angular** ω *a la distancia* **unidad** *del eje de rotación, tendría la misma energía cinética que el cuerpo considerado, recibe el nombre de* **momento de inercia** *(de la masa) del cuerpo y se simboliza con* **I.**

Se tiene, pues,

$$\mathbf{I} = \frac{1}{2}\,(\mathbf{m}_1\mathbf{r}_1^2 + \mathbf{m}_2\mathbf{r}_2^2 + \mathbf{m}_3\mathbf{r}_3^2 + \ldots)$$

y

$$\mathbf{W} = \frac{1}{2}\,\mathbf{I}\omega^2\,.$$

Indicando con **M** la masa total del cuerpo, podemos considerar también un radio ficticio, *que represente la distancia a que deberíamos situar la masa completa para tener el mismo momento de inercia,* es decir,

$$\mathbf{I} = \mathbf{M}\rho^2$$

este radio ρ se llama **radio de inercia** (o *radio de giro*) y tiene mucha importancia en diversos cálculos de mecánica aplicada.

Se demuestra fácilmente que el **momento de inercia de un cuerpo en rotación es mínimo cuando el eje de rotación pasa por el baricentro.**

Podemos, pues, dar una nueva definición del baricentro: *el punto por el que pasa una recta, paralela a una dirección determinada, respecto a la cual el momento de inercia es mínimo.*

En los problemas técnicos (volantes, ruedas polares de alternadores, etc.) es frecuente hablar, más que del momento de inercia, del **PD**², donde **P** es la masa multiplicada por la aceleración de la gravedad, o sea, **Mg**; y **D** el doble del radio de giro definido precedentemente.

Resulta por tanto:

$$\mathbf{GD}^2 = \mathbf{Mg}(2\varrho)^2 = 4\mathbf{gM}\varrho^2 = 4\mathbf{gI} \cong 40\,\mathbf{I}\,.$$

20. Momentos de inercia polares

A menudo se consideran también los momentos de inercia polares, $\mathbf{I}_o$, respecto a un punto **O**, llamado **polo** (fig. IV, 41). Si **m** es una masa puntiforme situada a una distancia **r** de un punto **O**, su momento de inercia polar es $\mathbf{mr}^2$.

Si el cuerpo se compone de mayor número de masas (fig. IV, 42), indicando con $\mathbf{m}_1$, $\mathbf{m}_2$, $\mathbf{m}_3$, $\mathbf{m}_4$, etc., las masas simples y con $\mathbf{r}_1$, $\mathbf{r}_2$, $\mathbf{r}_3$, etc., las respectivas distancias a **O**, el momento de inercia polar será:

$$\mathbf{I}_o = \mathbf{m}_1\mathbf{r}_1^2 + \mathbf{m}_2\mathbf{r}_2^2 + \mathbf{m}_3\mathbf{r}_3^2 + \ldots$$

Si consideramos ahora dos ejes cualesquiera **x** e **y**, perpendiculares entre sí, que pasen por **O** (fig. IV, 41); teniendo en cuenta el teorema de Pitágoras, según el cual $\mathbf{r} = \sqrt{\mathbf{x}^2 + \mathbf{y}^2}$, y llamando $\mathbf{I}_x$ e $\mathbf{I}_y$ a los momentos de inercia respecto a **x** e **y**, se comprueba inmediatamente que,

$$\mathbf{I}_o^2 = \mathbf{I}_x^2 + \mathbf{I}_y^2$$

relación que enlaza el momento de inercia polar con los momentos de inercia axiales.

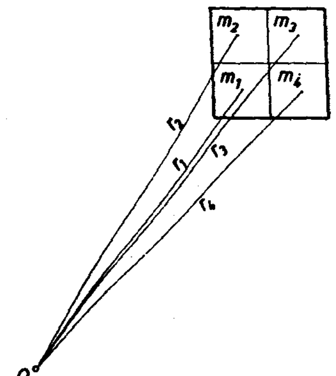


Fig. IV, 42. *Momento de inercia de una masa no puntiforme.*

21. Momentos de inercia ecuatoriales

El cálculo de los momentos de inercia que interesan en muchas aplicaciones prácticas, de las que trataremos dentro de poco, se puede reducir fácilmente a *sencillos cálculos geométricos*, considerando que, para cuerpos de forma geométrica bien definida, se tiene:

a) *Cuando el cuerpo considerado (supuesto homogéneo) tiene las tres dimensiones de igual importancia y variables independientemente una de otra, su masa es proporcional a su volumen;*

b) *Cuando, por el contrario, una de las dimensiones del cuerpo considerado puede considerarse fija con respecto a las demás,* que, en cambio, son variables (por ejemplo, el caso del momento de inercia de una serie de prismas, de secciones diversas, pero de altura constante, igual, por ejemplo, a 1 metro) *la masa puede considerarse proporcional al área de su sección.*

El caso *b* es aquel al que podemos remitirnos más frecuentemente en muchas aplicaciones mecánicas; por lo cual *se calculan los momentos de inercia respecto a un eje de su plano de las diversas figuras planas* que se presentan en la práctica, como son las secciones rectas de vigas, laminados, perfiles, etc. Estos momentos de inercia *referidos* **al área**, más bien que **a la masa**, quedan, pues definidos (fig. IV, 43) por

$$\mathbf{I}_x = \mathbf{a}_1\mathbf{x}_1^2 + \mathbf{a}_2\mathbf{x}_2^2 + \mathbf{a}_3\mathbf{x}_3^2 + \text{etc.}$$

donde $\mathbf{a}_1$, $\mathbf{a}_2$, $\mathbf{a}_3$, $\mathbf{a}_4$, etc., son las áreas parciales que forman la superficie total, y $\mathbf{x}_1$, $\mathbf{x}_2$, $\mathbf{x}_3$, etc., las respectivas distancias al eje **X** respecto al cual se calcula el momento de inercia. Estos momentos de inercia se llaman **ecuatoriales y se miden en mm⁴**.

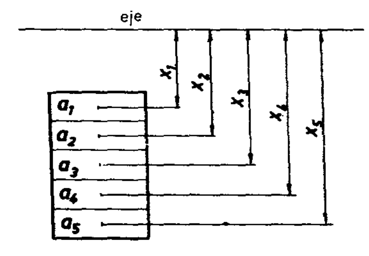


Fig. IV, 43. *El momento de inercia de una figura plana (por ejemplo, la sección de una viga) es función del área y del cuadrado de la distancia de su baricentro al eje considerado: por lo tanto se mide en mm⁴.*

Se pueden demostrar dos propiedades de los momentos de inercia ecuatoriales, muy importantes y cómodas para el cálculo de los momentos de inercia que se precisen.

1. *El momento de inercia* $\mathbf{I}_x$ *respecto a un eje cualquiera* **X** *es igual al momento de inercia* $\mathbf{I}_g$ *respecto a otro paralelo pasando por el baricentro, aumentado con el producto del área de la superficie por el cuadrado de la distancia entre los dos ejes* (fig. IV, 44):

$$\mathbf{I}_x = \mathbf{I}_g + \mathbf{A}\mathbf{d}^2 \qquad \textbf{(fórmula de transporte)}$$

Fig. IV, 44. *El momento de inercia respecto a un eje* x *es igual al momento de inercia respecto al eje baricéntrico paralelo a* x *sumado al producto del área por el cuadrado de la distancia entre ambos ejes.*

2. *El momento de inercia de una figura plana, respecto a uno de sus ejes, no varía al desplazarla paralelamente a sí misma a lo largo del eje.* Por ello, por ejemplo, las figuras 1, 2 y 3 (fig. IV, 45) *tienen el mismo momento de inercia,* respecto a un eje paralelo a la base.

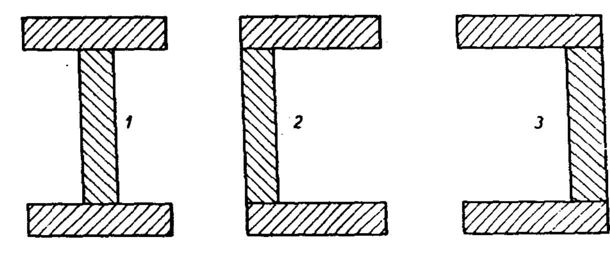


Fig. IV, 45. *Las tres figuras tienen el mismo momento de inercia respecto a un eje paralelo a la base.*

No viene ahora al caso extenderse en el cálculo de los momentos de inercia de las figuras planas más sencillas. Las fórmulas para las más importantes se hallan en los manuales y en la tabla siguiente.

Cuando se tengan que calcular los momentos de inercia de figuras que no se encuentran en la tabla (por ejemplo, estructuras compuestas) se han de sumar evidentemente los momentos de inercia de las diversas figuras simples que componen la figura dada, haciendo uso, cuando venga al caso, de la fórmula de transporte, o bien considerar la figura como diferencia de figuras cuyo momento de inercia esté indicado en la tabla.

Por ejemplo, el momento de inercia respecto al eje baricéntrico de la sección en doble T indicada en la figura IV, 46 *a*, se puede considerar como la diferencia entre los momentos de inercia respecto a dicho eje de un rectángulo de lados **A** y **B** y de otro de lados **a** y **b**. Resulta por tanto:

$$\mathbf{I}_g = \frac{\mathbf{AB}^3}{12} - \frac{\mathbf{ab}^3}{12}$$

Cuando se quiera calcular el momento de inercia de una figura más complicada, por ejemplo, la sección de la viga representada esquemáticamente en la

Momentos de inercia I y módulos de resistencia a la flexión W de algunas secciones corrientes

Sección	I_x	W	Sección	I_x	W
	$I_x = \frac{bh^3}{12}$ También para cualquier paralelogramo de base **b** y altura **h**	$W = \frac{bh^2}{6}$		$I_x = \frac{h^4}{12}$	$W = \frac{h^3}{6}$
	$I_x = \frac{bh^3}{36}$	$W = \frac{bh^2}{24}$		$I_x = 0{,}065d^4$	$W = 0{,}13d^3$
	$I_x = \frac{\pi d^4}{64} \simeq 0{,}05d^4$	$W = 0{,}1d^3$		$I_x = 0{,}05\,(D^4 - d^4)$	$W = \frac{\pi(R^4 - r^4)}{4R}$
	$I_x = \frac{\pi a^3 b}{4}$	$W = \frac{\pi a^2 b}{4}$		$I_x = \frac{\pi ab^3}{4}$	$W = \frac{\pi ab^2}{4}$
	$I_x = \frac{BH^3 - bh^3}{12}$	$W = \frac{BH^3 - bh^3}{6H}$		$I_x = \frac{Be_1^3 - bh^3 + ae_2^3}{3}$	$W = \frac{I_x}{e_2}$

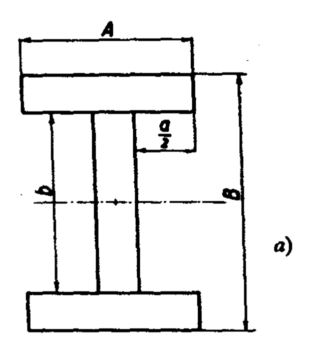


Fig. IV, 46 *a*).

Fig. IV, 46. a) *El momento de inercia de esta figura se puede calcular por diferencia entre los momentos de inercia de los rectángulos* A × B *y* a × b. b) *y* c) *El momento de inercia de la figura* b) *se puede obtener restando del momento de inercia del rectángulo* a × b *los momentos de inercia de los rectángulos* $b_1 \times h_1$, $b_2 \times h_2$, *etcétera.*

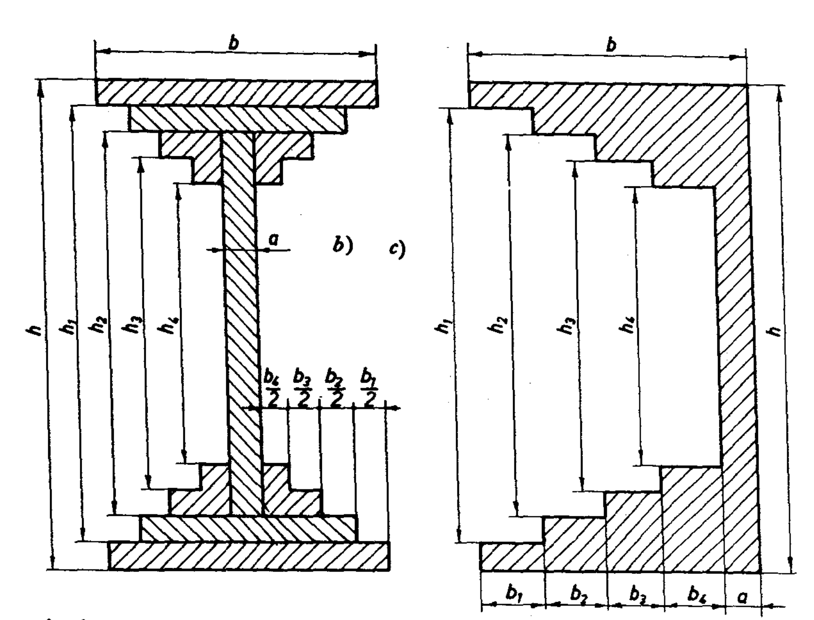


Fig. IV, 46 *b*) *y c*).

figura IV, 46 *b*, puede aplicarse el mismo método. Para el momento de inercia respecto al eje baricéntrico paralelo a la base **b**, se encuentra:

$$I_g = \frac{1}{12}(bh^3 - b_1h_1^3 - b_2h_2^3 - b_3h_3^3 - b_4h_4^3)$$

Capítulo IV

NOCIONES DE RESISTENCIA DE MATERIALES

22. Solicitaciones simples

Cuando en el n.° 6 tratábamos de un cuerpo que, debido a las ligaduras a que estaba sometido, no podía ponerse en movimiento bajo la acción de una fuerza aplicada al mismo, dijimos explícitamente que la fuerza no tenía ningún efecto sobre el cuerpo *en lo que respecta a su movimiento.* Esta última precisión es indispensable, puesto que es sólo a efectos de movimiento que la fuerza, en el caso considerado, no ejercía efecto sobre el cuerpo.

En realidad, *cuando sobre un cuerpo fijado e inmóvil, se aplica una fuerza, el cuerpo sufre una deformación,* más o menos visible. *Según la posición de la fuerza respecto al cuerpo, éste estará sujeto a solicitaciones de tipo diverso,* de las cuales *cinco se consideran fundamentales* y se denominan **solicitaciones simples.** Cualquier otra solicitación más compleja puede, en efecto, considerarse formada por la combinación o superposición de dos o más de tales solicitaciones simples.

Considerando un sólido de sección uniforme y forma alargada, llamado genéricamente **viga**, con un extremo fijado rígidamente (por ejemplo, empotrado en un soporte fijo), en la figura esquemática (fig. IV, 47) se indican los cinco esfuerzos simples que puede recibir.

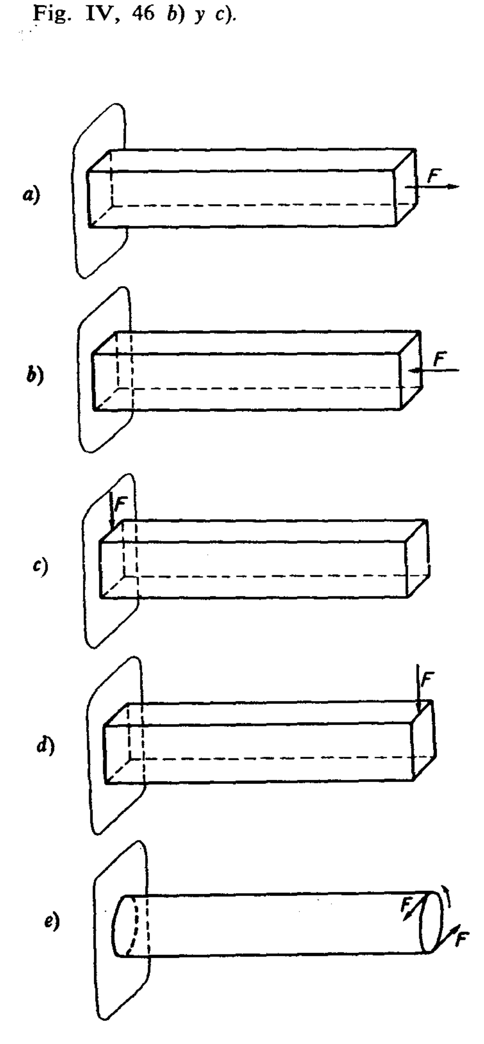


Fig. IV, 47. *Esquema de las solicitaciones simples:* a) *tracción;* b) *compresión;* c) *cortadura;* d) *flexión;* e) *torsión.*

23. Deformaciones elásticas

Consideremos, para fijar ideas, la solicitación de tracción. Al aplicar a una viga una fuerza de intensidad creciente gradualmente, se comprueba experimentalmente que la viga se alarga; y que, *al principio, el alargamiento es directamente proporcional a la fuerza solicitante.*

Más exactamente, sea **S** la sección de la viga y **F** la tensión total, la tensión por unidad de sección es evidentemente $t = \frac{F}{S}$,
y se llama **tensión unitaria**.

Por ejemplo, una viga de sección rectangular, con lados de 20 mm y 40 mm, puesta bajo una tensión axial total de 1600 kg, está solicitada por una tensión unitaria

$$t = \frac{F}{S} = \frac{1600}{20 \cdot 40} = 2 \text{ kg/mm}^2.$$

Si **L** es la *longitud inicial* de la viga (o mejor la longitud del segmento de viga comprendido entre dos trazos señalados en la misma) y **L′** la *longitud final* del mismo segmento de viga, el alargamiento sufrido es $L' - L = \Delta L$. La experiencia demuestra que, al aumentar la carga, se tiene primeramente:

$$\Delta L = \frac{FL}{ES}$$

donde **E** es un coeficiente llamado **módulo de elasticidad,** *dependiente del material que constituye el cuerpo solicitado.* Es decir,

El alargamiento es proporcional a la carga unitaria y a la longitud inicial; dependiendo además de la naturaleza del material que se deforma *(ley de Hooke).*

Por ejemplo, una viga de acero con una longitud inicial de 2 m, y 500 mm² de sección, puesta bajo una tensión total de 2000 kg, sufre un alargamiento

$$\Delta L = \frac{FL}{E \cdot S} = \frac{2000 \cdot 2000}{20.000 \cdot 500} = 0{,}4 \text{ mm}.$$

La experiencia demuestra, por otra parte que, *mientras la carga unitaria no rebase un cierto límite* (que depende de la naturaleza del material), *al cesar ésta, la viga recupera exactamente la longitud inicial. En este caso se dice que la deformación es* **elástica**.

Si, por el contrario, la carga supera cierto límite, llamado **límite de elasticidad**, se observa que tiene lugar una **fluencia** del material, por lo que, *al cesar la carga, las deformaciones permanecen* total o parcialmente. A partir de este punto, si la carga sigue aumentando, las deformaciones crecen rápidamente, y sin guardar proporcionalidad con la carga unitaria; y cuando ésta alcanza un valor que depende de la naturaleza del material, llamado **carga de rotura**, el sólido solicitado se rompe.

La figura IV, 48, representa el diagrama esquemático de los alargamienos sufridos por una probeta de acero, al aumentar la tensión (UNI 552-555).

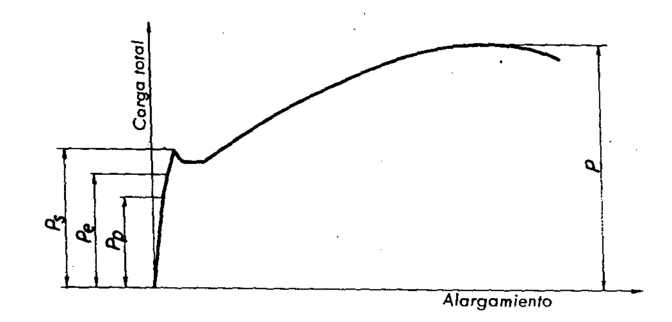


Fig. IV, 48. *Diagrama de los alargamientos en el ensayo de tracción.*

Partiendo del mencionado diagrama definimos:

a) **Carga P_p límite de proporcionalidad,** *es aquella a partir de la cual deja de existir proporcionalidad entre tensiones y deformaciones* (ley de Hooke).

b) **Carga P_e límite de elasticidad,** *a partir de la cual las deformaciones se hacen permanentes* (en mayor o menor grado).

c) **Carga de fluencia P_s,** *por encima de la cual se pasa bruscamente de pequeñas a grandes deformaciones.*

d) **Carga de rotura P,** *valor máximo de la carga alcanzado en la prueba hasta tener lugar la rotura.*

En correspondencia con las anteriores se definen las **cargas unitarias** *límite de proporcionalidad* σ_p; *límite de elasticidad* σ_e; límite de fluencia s; y carga unitaria máxima, llamada también **carga unitaria de rotura R**. Estas cargas se calculan refiriendo las cargas indicadas primeramente, a la sección *inicial* de la probeta S_0.

$$\sigma_p = \frac{P_p}{S_0}\ ; \quad \sigma_e = \frac{P_e}{S_0}\ ; \quad s = \frac{P_s}{S_0}\ ; \quad R = \frac{P}{S_0}\ .$$

La carga de rotura es un dato de vital importancia para todo material, sea porque sirve para determinar su capacidad de resistencia a las solicitaciones, sea porque estando ligado a la dureza del material, es un elemento que interesa muchísimo también para el mecanizado de los materiales en máquinas herramientas.

Coeficientes de resistencia de algunos de los materiales de empleo más corriente						
Materiales	E módulo de elasticidad kg/mm²	R kg/mm² carga de rotura		P_e kg/mm² carga del límite de elasticidad	K Coeficiente de resistencia	
		Tracción	Compres.		Máquinas	Construcciones
Hierro soldado	20000	30 ÷ 36	28 ÷ 30	16 ÷ 20	9	8 ÷ 10
Hierro homogéneo	»	35 ÷ 45	»	18 ÷ 24	9 ÷ 12	»
Acero dulce	22000	40 ÷ 60	> 80	25 ÷ 35	12 ÷ 15	13 ÷ 20
Acero al níquel	»	50 ÷ 110	»	30 ÷ 50	20 ÷ 25	18 ÷ 24
Aceros especiales al cromo, silicio, etc.	—	90 ÷ 180	—	60 ÷ 120	15 ÷ 30	—
Alambre de hierro	20000	45 ÷ 60	—	24 ÷ 30	15 ÷ 20	15 ÷ 20
Alambre de acero	24000	75 ÷ 200	—	40 ÷ 50	18 ÷ 30	24 ÷ 30
Fundición	10000	10 ÷ 15	60 ÷ 80	trac. 6 comp. 13	trac. 3 comp. 9	trac. 2 comp. 5
Cobre en lingotes	11000	13 ÷ 15	40	—	—	—
Cobre en chapas	»	20 ÷ 25	40 ÷ 50	trac. 10	3 ÷ 5	—
Cobre en alambre	13000	40 ÷ 60	—	» 5	4 ÷ 6	—
Aluminio en chapas	7000	10 ÷ 12	—	—	—	—
Latón en lingotes	6500	12 ÷ 15	50	trac. 5	1,5	—
Latón en chapas	10000	20 ÷ 25	70 ÷ 90	» 10	3,5	—
Latón en alambre	»	35 ÷ 80	—	» 12	4 ÷ 6	—
Bronce en lingotes	7000	15 ÷ 25	50	» 6 ÷ 10	2 ÷ 3	—
Bronce fosforoso	9800	30 ÷ 40	—	» 13,5	7	—
Cinc en chapas	9500	16	—	» 2,5	—	—
Madera dura en dirección de las fibras	1200	8 ÷ 9	4 ÷ 5	trac. 2,5 comp. 2,2	0,6	trac. 1 comp. 0,6
Madera perpendicularmente a las fibras	150	1,2	2,5	—	—	—
Madera blanda en dirección de las fibras	1000	7 ÷ 8	3 ÷ 4	trac. 2,2 comp. 1,6	0,4	trac. 0,6 comp. 0,4
Cuerda de cáñamo	150	6 ÷ 8	3 ÷ 5	1	0,6 ÷ 1	1

24. Condición de estabilidad de la tracción

Cuando un material empleado en la construcción de una máquina o de otro aparato deba recibir solicitaciones continua o alternativamente, es evidentemente necesario verificar que *la carga máxima no sólo sea menor que la carga de rotura, sino que* **no supere una cierta fracción de ésta,** *llamada* **carga de seguridad** y que, en cada caso, está fijada por las cláusulas de los contratos, por las normas legislativas, o simplemente por la experiencia.

El cociente entre la carga de rotura **R** *y la carga de seguridad* **K** *indica, evidentemente, las veces que la primera es mayor que la segunda y se denomina* **coeficiente de seguridad** C_s:

$$g_s = \frac{R}{K}.$$

Con las notaciones que acabamos de dar, la condición de estabilidad de la tracción resulta ser:

$$\frac{P}{S} \leq K$$

o también,

$$\frac{P}{S} \leq \frac{R}{g_s}.$$

Por ejemplo, deseando verificar si una viga de acero con $R = 80$ kg/mm², $C_s = 10$ y $k = 8$ kg/mm², sometida a una tracción total de 2000 kg, se halla dentro del límite de seguridad, se procede del modo siguiente:

$$\frac{P}{S} < k \quad \frac{P}{S} = \frac{2000}{500} = 4 \text{ kg/mm}^2$$

que efectivamente es menor que **K**, que vale 8 kg/mm².

En casos de gran importancia, es preciso tener en cuenta además otros factores, tanto en el cálculo como en la verificación. Por ejemplo, si un sólido está fijado de tal manera que su longitud sea siempre constante, una disminución de temperatura puede tener notable influencia en la estabilidad. En efecto, dicho descenso de temperatura debería producir un acortamiento; pero no pudiendo efectuarse éste, porque la longitud es invariable, aparece en la viga una tensión unitaria que se suma a la debida a la eventual carga. Puede darse así el caso de rebasar notablemente la carga de seguridad, que, si no fuera por el descenso de temperatura no se alcanzaría de ninguna manera.

Otro caso es el de un sólido vertical de gran longitud, fijado por su parte superior, sometido a tracción. En este caso, puede que sea necesario tener presente que, además de la carga exterior, el peso propio de la viga puede tener notable importancia. No obstante, se trata de casos que no se presentan nunca al dibujante corriente, por lo que basta haberlos señalado.

25. Solicitación de compresión

La misma ley de la tracción es válida para la compresión. Debe observarse, sin embargo, que, mientras para algunos materiales las cargas de rotura y de seguridad y el módulo de elasticidad de la compresión coinciden con los correspondientes a la tracción, para otros no es así. Por ejemplo, la fundición resiste muy mal a la tracción y muy bien a la compresión; la madera resiste bien a la tracción y mal a la compresión, etcétera.

Por otra parte, *la regla expuesta sólo es válida para la solicitación de compresión en el caso de que la longitud de la viga no sea excesivamente grande comparada con su dimensión transversal más pequeña.* Si esto no se cumple, se deben aplicar las consideraciones que expondremos para los **sólidos cargados de punta** (véase el n.° 20).

26. Cálculo o verificación de una viga sometida a tracción o compresión

Cuando se deba calcular la sección de una viga sometida a tracción o compresión, se efectúa el cálculo *determinando el valor de la sección* **S** *con la cual la carga unitaria* **P'** *sea igual a la carga de seguridad* **K**. Puede ocurrir, evidentemente, que, por razones técnicas, no sea practicable exactamente la sección calculada, por ejemplo, por no ser una medida comercial; en cuyo caso se tomará la sección inmediatamente superior que sea practicable.

Tenemos pues que:

$$S = \frac{P'}{K}.$$

Cuando, por el contrario, se deba efectuar la verificación de una sección ya calculada o colocada, se comprobará que, para dicha sección, la carga unitaria resulte menor o como máximo igual a la carga de seguridad.

Al proyectar se puede proceder también por verificación, cuando, por ejemplo, se tenga que someter a la tracción un perfil de hierro. Se elige, entonces, a ojo, un perfil de dimensiones comerciales y se verifica; si el valor de la carga unitaria no es mucho menor que el de la carga de seguridad, el perfil elegido va bien; de otro modo se pasa a la medida inmediata inferior, ya que es inútil sobredimensionar excesivamente, y se efectúa una nueva verificación. Si, por el contrario, la carga unitaria resultante para el perfil elegido resulta mayor, aunque sea por poco, que la carga de seguridad, debe pasarse a la medida superior y proceder a una nueva verificación, comprobando que se tenga

$$\frac{P}{S} \leq K.$$

Por ejemplo, debiéndose proyectar una viga en doble T sometida a tracción de 18 000 kg, siendo $\mathbf{K} = 10$ kg/mm², se calcula la sección mínima de la viga

$$\mathbf{S} = \frac{\mathbf{P}}{\mathbf{K}} = \frac{18\,000}{10} = 1800 \ \text{mm}^2.$$

En la tabla de momentos de inercia de vigas, que se hallan en todos los manuales, se ve que el perfil en doble T de 140 mm tiene 1820 mm² de sección y es, por tanto, el conveniente.

Deseándose ahora verificar si un perfil en L, de lados iguales, de 100 mm, con 2270 mm² de sección, puede soportar una carga de 20 000 kg, con $\mathbf{K} = 8$ kg/mm², se calcula

$$\frac{\mathbf{P}}{\mathbf{S}} = \frac{20\,000}{2270} = 8{,}8 \ \text{kg/mm}^2 > 8 \ \text{kg/mm}^2.$$

No siendo, pues, $\frac{\mathbf{P}}{\mathbf{S}} < \mathbf{K}$, la viga no satisface las condiciones de estabilidad. Debe, pues, pasarse al perfil de 2620 milímetros cuadrados de sección, que cumple la mencionada condición.

De idéntica forma se calcula o verifica un sólido sometido a compresión.

27. Solicitación de cortadura

Un sólido está solicitado a cortadura cuando la resultante de las fuerzas aplicadas está situada en el plano de una sección del sólido perpendicular a su eje, y pasa por el baricentro de la misma (fig. IV, 47).

Bajo la acción de los esfuerzos cortantes, nacen en el sólido tensiones internas llamadas **tangenciales;** situadas en el plano de la sección.

Admitiendo que la repartición del esfuerzo cortante **T** sobre la sección **S** es uniforme, la solicitación unitaria τ será:

$$\tau = \frac{\mathbf{T}}{\mathbf{S}}$$

Para tener en cuenta las acciones secundarias, se admite que la carga de seguridad **K'** *a la cortadura, en materiales isótropos* (es decir, con idénticas características en todas direcciones) *sea igual a 4/5 de la de tracción:*

$$\mathbf{K}' = \frac{4}{5}\mathbf{K}.$$

La condición de estabilidad, análoga a la de la tracción, resulta, pues, para el cálculo de secciones:

$$\mathbf{S} = \frac{\mathbf{T}}{\mathbf{K}'};$$

mientras que para su verificación, tendremos:

$$\frac{\mathbf{T}}{\mathbf{S}} \leq \mathbf{K}'.$$

Por ejemplo, para calcular una viga, sujeta a un esfuerzo cortante de 2000 kg, de acero con $\mathbf{K} = 10$ kg/mm², teniendo en cuenta que $\mathbf{K}' = 4/5\ \mathbf{K} = 8$ kg/mm², se obtiene la sección de la viga empleando la fórmula:

$$\mathbf{S} = \frac{\mathbf{T}}{\mathbf{K}'} = \frac{2000}{8} = 250 \ \text{mm}^2.$$

Si se quiere, en cambio, verificar una viga de acero con $\mathbf{K}' = 6$ kg/mm², con $\mathbf{S} = 800$ mm² solicitada por un esfuerzo cortante $\mathbf{T} = 8000$ kg, se halla:

$$\frac{\mathbf{T}}{\mathbf{S}} = \frac{8000}{800} = 10 > \mathbf{K}' (= 6).$$

No verificándose la condición de estabilidad:

$$\frac{\mathbf{T}}{\mathbf{S}} < \mathbf{K}',$$

deberá aumentarse la sección hasta 1400 mm², con la que:

$$\frac{\mathbf{T}}{\mathbf{S}} = \frac{8000}{1400} = 5{,}7 < \mathbf{K}' (= 6).$$

28. Solicitación de flexión

Esta solicitación tiene lugar *cuando la fuerza tiende a curvar o a variar la curvatura del sólido.* Sea una viga sometida a la flexión, como indica la figura IV, 49, en la que la deformación se ha dibujado muy exagerada, para mayor claridad, la experiencia demuestra que *se tiene, durante la deformación,* **invariabilidad de las secciones rectas**; es decir, si se dibuja sobre la periferia del sólido el perímetro de las diversas secciones rectas, normales al eje de la viga, ninguna de ellas, incluso después de la deformación, deja de estar contenida en un plano.

Si se considera el esquema (fig. IV, 50) que representa el caso más sencillo, de un sólido empotrado por un extremo, y sobre cuyo otro extremo actúa una fuerza, situada en el plano del dibujo y perpendicular antes de la deformación al eje de la viga, se observa que, después de la deformación, *una parte de las fibras del sólido se han* **alargado** *y, en conse-*

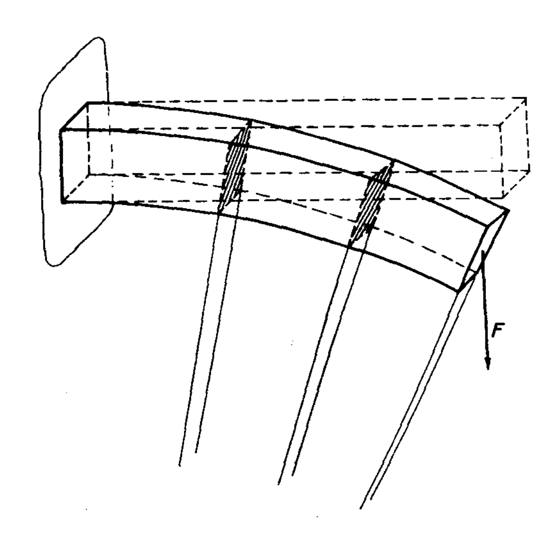


Fig IV, 49. *En la flexión las secciones se conservan planas.*

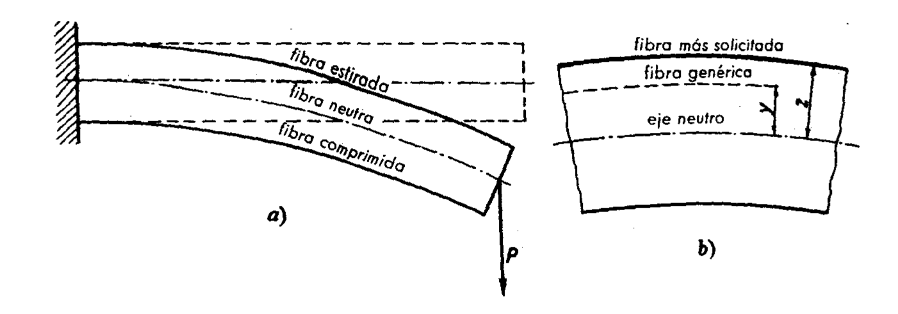


Fig. IV, 50. *Flexión.* a) *Fibras estiradas y fibras comprimidas: entre ambas la fibra neutra, ni comprimida ni estirada.* b) *La fibra más solicitada es la más alejada del eje neutro.*

cuencia, están **estiradas** (fig. IV, 50 *a*), mientras que las otras están **comprimidas**; *entre las dos series de fibras hay una que* **ni está estirada ni comprimida,** *llamada* **fibra neutra**, *y que forma parte del* **plano neutro**, *que contiene todas las fibras neutras.*

De cuanto antecede resulta que **las fibras más solicitadas son las más alejadas del plano neutro**; pudiendose demostrar que **los esfuerzos son proporcionales a su distancia a dicho plano** (fig. IV, 50 *b*).

La flexión de la viga la produce el **momento flector**, es decir, el producto de la fuerza actuante por su brazo. Evidentemente este brazo no es constante para todas las secciones de la viga, sino que crece al aumentar la distancia de la sección considerada a la fuerza. En el caso de una sola fuerza (fig. IV, 51), llamando **F** a la fuerza y **d** a su distancia a una sección cualquiera **S**, se tiene:

$$\mathbf{M} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{d}$$

Por lo tanto, *el momento tiene su valor máximo, igual a* **F · l, en la sección situada junto al empotramiento,** siendo **l** la longitud de la viga.

Puede demostrarse también que si **y** es la distancia al eje neutro, de una fibra cualquiera de la viga, el esfuerzo de tracción o compresión que recibe dicha fibra como consecuencia de la flexión, viene dada por:

$$\sigma = \frac{\mathbf{M}_f}{\mathbf{I}} \cdot \mathbf{y},$$

donde **I** es el momento de inercia ecuatorial de la sección de la viga respecto al eje neutro.

Partiendo de esto es evidente que la fibra solicitada más intensamente es la situada a mayor distancia del eje neutro, es decir, llamando **z** a esta distancia máxima, tal fibra estará solicitada por un esfuerzo unitario (fig. IV, 50 *b*):

$$\sigma = \frac{\mathbf{M}_f}{\mathbf{I}} \cdot \mathbf{z}.$$

La razón **I/z** se acostumbra indicar con **W,** y *se le da el nombre de* **módulo de resistencia.** En consecuencia, introduciendo dicho módulo, la fórmula anterior queda:

$$\sigma = \frac{\mathbf{M}_f}{\mathbf{W}}.$$

Es conveniente observar que, siendo **I** una magnitud geométrica de cuarto grado, medida en mm^4, **W** resulta ser una magnitud de tercer grado, expresada en $\mathbf{mm^3}$.

A fin de que haya estabilidad, la solicitación unitaria σ debe de ser menor que la carga de seguridad **K;** con lo que la condición de estabilidad queda:

$$\frac{\mathbf{M}_f}{\mathbf{W}} \leq \mathbf{K}.$$

Resumiendo:

Para calcular la sección de una viga sometida a flexión simple, por la acción de una fuerza exterior, se debe:

a) *determinar el valor del momento flector máximo* $\mathbf{M}_f$;

b) *fijar la carga de seguridad* **K**;

c) *calcular el módulo de resistencia* **W** *de la sección, que satisfaga la ecuación*

$$\mathbf{W} = \frac{\mathbf{M}_f}{\mathbf{K}};$$

d) *conocido el módulo de resistencia y determinada la forma de la sección, mediante un formulario y tablas, se pueden determinar sus dimensiones.*

Por el contrario, **para comprobar** si existe estabilidad en una viga solicitada a la flexión, se debe:

a) *determinar el momento flector máximo* $\mathbf{M}_f$;

b) *determinar el módulo de resistencia de la viga, basándose en sus dimensiones y sirviéndose de las fórmulas o tablas adecuadas;*

c) *verificar si se cumple:*

$$\frac{\mathbf{M}_f}{\mathbf{W}} \leq \mathbf{K}.$$

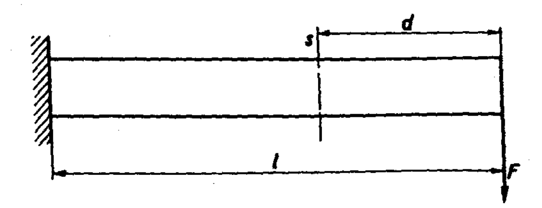


Fig. IV, 51. *El momento flector de una fuerza* F *respecto a una sección* s *se obtiene multiplicando la fuerza por la distancia* d *entre fuerza y sección.*

Por ejemplo, se quiere calcular una viga de sección rectangular empotrada en uno de sus extremos y solicitada en el otro por una fuerza **F** = 500 kg, distante 2 m del empotramiento: es el caso reproducido en la figura IV, 51.

El momento flector máximo, aplicado en el empotramiento, vale:

$$\mathbf{M}_f = \mathbf{F} \cdot \mathbf{l} = 500 \cdot 2 = 1000 \text{ m-kg} = 1\,000\,000 \text{ mm-kg}$$

Suponiendo que la viga se ha fabricado con acero con **K** = 10 kg/mm², el módulo de resistencia se calcula aplicando la fórmula:

$$\mathbf{K} = \frac{\mathbf{M}_f}{\mathbf{W}} \qquad \mathbf{W} = \frac{\mathbf{M}_f}{\mathbf{K}} = \frac{1\,000\,000}{10} = 100\,000 \text{ mm}^3.$$

Para una sección rectangular $\mathbf{W} = \frac{\mathbf{bh}^2}{6}$, donde **b** es la base y **h** la altura, determinando que $\mathbf{b} = \frac{2}{3}\mathbf{h}$, se tiene:

$$\mathbf{W} = \frac{\frac{2}{3}\mathbf{h}^3}{6} = \frac{1}{9}\mathbf{h}^3,$$

de donde

$$\mathbf{h} = \sqrt[3]{9\mathbf{W}} = \sqrt[3]{9 \cdot 100\,000} = \sqrt[3]{900\,000} \cong 96 \text{ mm};$$

por tanto,

$$\mathbf{b} = \frac{2}{3}\mathbf{h} = \frac{2}{3}96 = 64 \text{ mm}.$$

Para verificar una viga sujeta del modo indicado en la figura IV, 51, con **F** = 300 kg, **l** = 700 mm, sección circular, diámetro 60 mm, **K** = 10 kg/mm², se calcula primeramente el momento flector.

$$\mathbf{M}_f = \mathbf{F} \cdot \mathbf{l} = 300 \cdot 700 = 210\,000 \text{ mm-kg}$$

El módulo de resistencia para la sección circular es:

$$\mathbf{W} = \frac{\pi \mathbf{d}^3}{32} = \frac{3{,}14 \cdot 216\,000}{32} = 21200 \text{ mm}^3.$$

Siendo

$$\frac{\mathbf{M}_f}{\mathbf{W}} = \frac{210\,000}{21\,200} = 9{,}8 < \mathbf{K}\,(= 10)$$

la viga queda, pues, verificada.

En ambos casos se ha de calcular siempre el momento flector máximo. Efectuaremos dicho cálculo para algunos de los casos fundamentales.

En cualquier caso se tendrán muy presentes las siguientes reglas:

a) *Cuando sobre una viga actúan varias fuerzas, el momento resultante se determina efectuando la suma algebraica de los distintos momentos, según el teorema de Varignon.*

b) *El momento flector correspondiente a una determinada sección de una viga cualquiera, se obtiene, considerando los momentos de las diversas fuerzas que actúan,* **incluyendo las reacciones, a partir de uno cualquiera de los extremos,** *hasta la sección considerada.* Cualquiera que sea el extremo elegido, el resultado es el mismo.

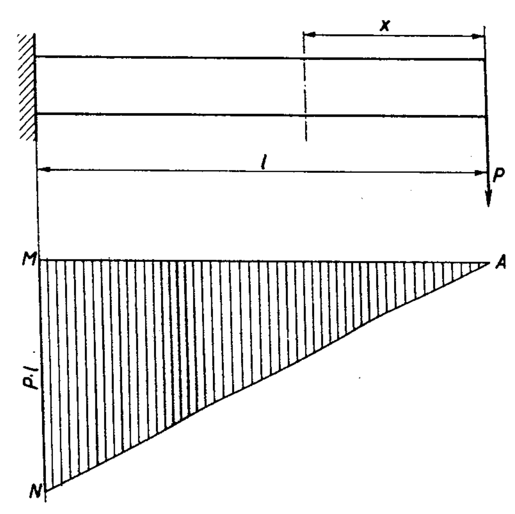


Fig. IV, 52. *Diagrama del momento flector en una viga empotrada, con una carga concentrada en el extremo libre.*

a) **Viga empotrada por un extremo y libre por el otro, con carga concentrada en el extremo libre.** El momento, en una sección cualquiera distante **x** del extremo, es **P** · **x**. El momento máximo se tendrá evidentemente en la sección correspondiente al empotramiento y su valor será: **P** · **l** (fig. IV, 52). En la misma figura se ha dibujado *el diagrama de momentos flectores, que tiene la forma del triángulo* **AMN**, donde **MN** representa **P** · **l** y determina, por tanto, la escala de los momentos.

b) **Viga empotrada por un extremo y libre por el otro con varias cargas concentradas aplicadas en diversas secciones de la viga.**

Cada una de las cuatro fuerzas aplicadas tiene su momento representado por un diagrama parcial análogo al precedente. El diagrama del momento total se obtiene sumando las ordenadas de todos los diagramas, que lógicamente deberán trazarse a la misma escala. En cada punto de la viga en que está aplicada una carga, el diagrama del momento flector total cambia de pendiente; en la sección **1** el momento es cero; en la sección **2** el momento es el representado por **a**; en la sección **3** viene dado por **b** + **c**; en la sección **4** por **d** + **e** + **f**, y así sucesivamente, como se observa en la figura IV, 53.

Por ejemplo, con las notaciones de la figura IV, 53, tendríamos:

$$\mathbf{P}_1 = 20 \text{ kg}; \ \mathbf{l}_1 = 4 \text{ m};$$
$$\mathbf{P}_2 = 10 \text{ kg}; \ \mathbf{l}_2 = 3{,}2 \text{ m};$$
$$\mathbf{P}_3 = 12 \text{ kg}; \ \mathbf{l}_3 = 1{,}8 \text{ m};$$
$$\mathbf{P}_4 = 25 \text{ kg}; \ \mathbf{l}_4 = 1 \text{ m}.$$

Resulta:

$$\mathbf{M}_f = \mathbf{P}_1\mathbf{l}_1 + \mathbf{P}_2\mathbf{l}_2 + \mathbf{P}_3\mathbf{l}_3 + \mathbf{P}_4\mathbf{l}_4 =$$
$$= 20 \cdot 4 + 10 \cdot 3{,}2 + 12 \cdot 1{,}8 + 25 \cdot 1 =$$
$$= 80 + 32 + 21{,}6 + 25 = 158{,}6 \text{ kgm}.$$

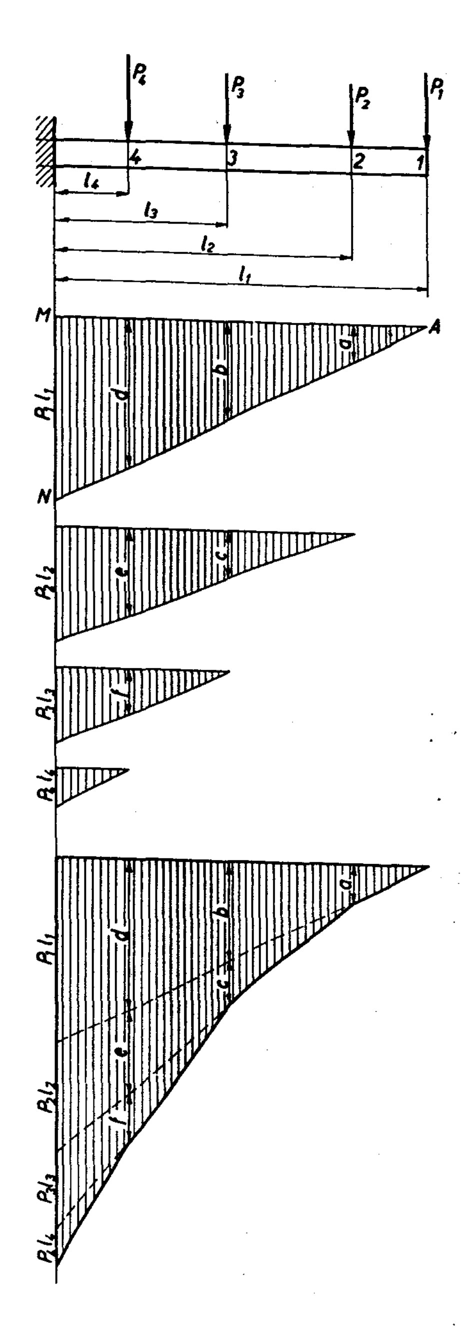


Fig. IV, 53. *El diagrama del momento flector para una viga empotrada, con varias cargas concentradas, se obtiene sumando los diagramas correspondientes a cada carga, trazados como en la* figura IV, 52; *es evidente que todos los diagramas se han de trazar* a la misma escala.

c) **Viga empotrada por un extremo y libre por el otro, con carga repartida uniformemente de q kg por metro.**

Se determina el diagrama de momentos, como extensión del caso precedente, considerando la carga dividida en numerosas partes iguales, de la forma indicada en la figura IV, 54; para cada carga se efectúa la construcción anterior. Cuando el número de partes en que se divide la carga es elevado, el diagrama hallado toma forma parabólica.

A los efectos del momento máximo, la carga distribuida equivale a una carga concentrada $\mathbf{Q} = \mathbf{q} \cdot \mathbf{l}$, aplicada a la mitad de la longitud, es decir, a una distancia 1/2 del empotramiento. Según esto el momento flector máximo vale:

$$\mathbf{M}_f = \mathbf{Q} \cdot \frac{\mathbf{l}}{2} = \mathbf{ql} \cdot \frac{\mathbf{l}}{2} = \mathbf{q}\,\frac{\mathbf{l}^2}{2}.$$

Por ejemplo (fig. IV, 54) sea $q = 10$ kg/m y $l = 12$ m, el momento flector máximo de la viga empotrada:

$$\mathbf{M}_f = \frac{\mathbf{ql}^2}{2} = 10 \cdot \frac{12^2}{2} = \frac{1440}{2} = 720 \text{ kgm.}$$

d) **Viga apoyada por sus dos extremos, con carga concentrada P** (fig. IV, 55). La carga concentrada se descompone en dos partes, de valores **P (l — a) l** y **Pal** respectivamente, como ya dijimos en el n.° 12. Cada uno de los apoyos da una reacción igual y de signo contrario a la componente de la carga que soporta. Todo ocurre, pues, como si sobre la viga se aplicaran la carga **P** y las dos reacciones de los apoyos. Estas últimas son iguales entre sí sólo en el caso de que la carga se aplique en el centro de la viga.

Teniendo presente la regla *b)* expuesta en la página anterior, esto es, que el $\mathbf{M}_f$ correspondiente a una sección de la viga es debido solamente a las fuerzas aplicadas sólo a la izquierda o sólo a la derecha de la sección, consideremos las fuerzas aplicadas a la izquierda. Éstas son: la fuerza **P** y la reacción del apoyo **1**. La fuerza **P** da, evidentemente, un momento nulo en **B**, por ser nulo su brazo: la reacción del apoyo **1** vale **P(l — a)/l**; puesto que, respecto a la sección **B**, su brazo es **a**, el momento flector total en **B** será:

$$\mathbf{M}_{fB} = \mathbf{P} \cdot \mathbf{a}\,\frac{\mathbf{l} - \mathbf{a}}{\mathbf{l}}.$$

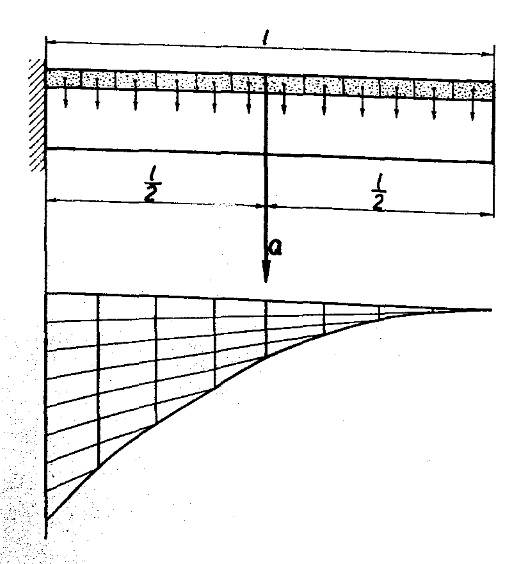


Fig. IV, 54. *Si la carga está uniformemente repartida, el diagrama del momento flector es parabólico.*

Es fácil comprobar que *en cualquier otra sección de la viga el momento es menor; siendo, evidentemente, nulo en las secciones correspondientes a los apoyos.* El diagrama tiene, pues, forma de triángulo (fig. IV, 55).

Mediante cálculos que no viene al caso reproducir, se halla que, a igualdad de carga, el momento flector es máximo cuando la carga se encuentra en el punto medio de la viga; en tales condiciones vale:

$$M_f = \frac{Pl}{4}.$$

Por ejemplo, en la viga representada en la figura IV, 55, sea, indicando con R_1 y R_2 las reacciones de los apoyos:

$$a = 6 \text{ m} \quad P = 1000\text{kg} \quad l = 10 \text{ m}$$

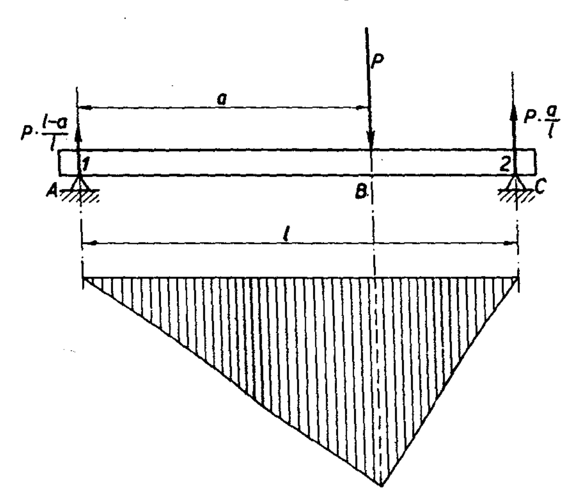


Fig. IV, 55. *Diagrama del momento flector de una viga apoyada por sus extremos, con carga concentrada.*

El cálculo de las reacciones conduce a la determinación de los valores siguientes:

$$R_1 = P\frac{l-a}{l} = 1000 \cdot \frac{10-6}{10} = 400 \text{ kg.}$$

$$R_2 = P\frac{a}{l} = 1000 \cdot \frac{6}{10} = 600 \text{ kg.}$$

El momento flector máximo está en **B** y vale (considerando las fuerzas a la izquierda de **B**):

$$M_f = P\frac{l-a}{l} \cdot a = R_1 \cdot a = 400 \cdot 6 = 2400 \text{ kgm.}$$

Este momento se considera positivo porque produce una solicitación que provoca un estiramiento de las fibras inferiores de la viga.

Tomando las fuerzas a la derecha de **B** se llega al mismo resultado.

e) **En el caso de varias cargas concentradas,** *se determinan las reacciones en los apoyos correspondientes al conjunto de las cargas.* Se procede después a la determinación de los momentos flectores resultantes en las diversas secciones cargadas y se observa en cuál de ellas el momento flector toma el valor máximo, que se empleará en los cálculos.

f) **En el caso de una viga apoyada, con carga uniformemente distribuida de q kg/m,** *la carga* **Q** *total es igual a* **q · l.** El momento flector máximo está en la sección central de la viga. Considerando, por ejemplo, las fuerzas aplicadas a la izquierda de la sección, es decir, la reacción del apoyo, igual a $\left(\frac{q \cdot l}{2}\right)$ y la carga correspondiente a la mitad de la carga total (aplicada a la mitad de la distancia entre la sección central y el apoyo, esto es, a la distancia **l/4**). En total, para la sección central se tiene:

$$M_f = \frac{ql}{2} \cdot \frac{1}{2} - \frac{ql}{2} \cdot \frac{1}{4} = \frac{ql^2}{4} - \frac{ql^2}{8} = \frac{1}{8} ql^2$$

En la tabla siguiente damos la fórmula final a emplear, para otros casos de carga distintos, sin exponer el método empleado para su determinación (fig. IV, 56).

29. Sólidos cargados de punta

Cuando una viga sometida a compresión tiene su dimensión longitudinal mucho mayor que la transversal mínima, se observa que *el sólido, en lugar de sufrir solamente una compresión, tiende también a* **flexionarse**; se tiene pues, *una solicitación compuesta llamada* **pandeo**. Este fenómeno tiene lugar debido a que el sólido nunca es perfectamente homogéneo y a que las cargas nunca están perfectamente centradas respecto a la sección del sólido cargada.

Para el cálculo de la sección de un sólido que se encuentre en estas condiciones, utilizaremos una **fórmula** llamada **de Euler,** que se deduce mediante un proceso que no es posible reproducir aquí.

Como en el caso precedente de solicitación a la flexión, al efectuar el cálculo, *determinaremos el momento de inercia de la sección, sirviéndonos de la fórmula de Euler;* y luego, *conocido el momento de inercia, se obtendrán las dimensiones de la sección;* mas, para verificar, *se determinará la carga máxima que admite la sección dada y comprobará que la carga efectiva sea inferior a dicha carga máxima.*

Conviene efectuar también, a continuación, el cálculo (o la verificación) **para compresión simple**; ya que en el caso de que éste diera una sección mayor que la calculada por la fórmula de Euler, lógicamente se debería tomar la sección mayor.

Para simplificar la fórmula de Euler y varias observaciones referentes a ella se resumen en una tabla única (fig. IV, 57) en la página siguiente.

Para aplicar correctamente la repetida fórmula de Euler, es preciso tener en cuenta la llamada **relación de ligereza** *del sólido cargado,* esto es, **la relación entre la longitud** l_1 (*longitud con ausencia de flexión,* véase la figura de la tabla) *y el* **radio de inercia mínimo de la sección** ρ.

$$\textbf{Relación de ligereza} = \frac{l}{\rho_{min}}$$

TABLA RESUMEN DE LAS SOLICITACIONES MÁXIMAS EN LOS TIPOS CORRIENTES DE VIGAS			
Viga empotrada en un extremo y libre en el otro, carga vertical P en el extremo libre	Reacciones	M_f máximo	Esfuerzo cortante máximo
	$R_A = P$	$M_f = P \cdot l$ Sección de máxima solicitación: sección de empotramiento	$C = P$
ídem; carga total $Q = ql$ uniformemente repartida	$R_A = Q$	$M_f = \frac{ql^2}{2}$	$C = Q$
ídem; varias cargas concentradas	$R_A = P_1 + P_2 + P_3$	$M_f = P_1 l_1 + P_2 l_2 + P_3 l_3$	$C = P_1 + P_2 + P_3$
Viga apoyada por sus extremos, carga vertical P en el centro	$R_A = R_B = \frac{P}{2}$	$M_f = \frac{P \cdot l}{4}$	$C = \frac{P}{2}$
ídem; carga total $Q = ql$ uniformemente repartida	$R_A = R_B = \frac{ql}{2}$	$M_f = \frac{ql^2}{8}$	$C = \frac{ql}{2}$
ídem; carga concentrada en un punto cualquiera C	$R_A = \frac{P(l-a)}{l}$ $R_B = \frac{P \cdot a}{l}$	$M_f = \frac{Pa(l-a)}{l}$ Sección de máxima solicitación: sección cargada	$C_A = \frac{P(l-a)}{l}$ $C_B = \frac{P \cdot a}{l}$
Viga apoyada por un extremo y empotrada en el otro; carga concentrada en el centro	$R_A = \frac{11}{16} P$ $R_B = \frac{5}{16} P$	$M_f = \frac{3}{16} P l$ Sección de máxima solicitación: sección A	$C_A = \frac{11}{16} P$

Fig. IV, 56.

Tabla resumen de las cargas admisibles para los sólidos cargados de punta

Esquema de la viga	P; L; $l_1 = 2L$	P; $l_1 = L$; L	P; $l_1 = \frac{2}{3}L$; L	P; $l_1 = \frac{1}{2}L$; L
Condición de la viga	Un extremo es fijo, el otro completamente libre.	Un extremo móvil en la dirección de la línea de acción de la carga; el otro articulado.	Sólido empotrado en un extremo, y con el otro móvil en la dirección de la línea de acción de la carga.	Sólido empotrado en los dos extremos.
Fórmula de Euler	$P \leq 2{,}5 \frac{E\ J_{mín}}{L^2} \frac{K}{R}$	$P \leq 10 \frac{E\ J_{mín}}{L^2} \frac{K}{R}$	$P \leq 20 \frac{E\ J_{mín}}{L^2} \frac{K}{R}$	$P \leq \frac{E\ J_{mín}}{L^2} \frac{K}{R}$
Símbolos y unidades empleados	El módulo de elasticidad en kg/mm²; P carga en kg; L longitud en milímetros; K carga de seguridad; R carga de rotura; $\frac{K}{R}$ es el inverso del grado de seguridad; J_{min} momento de inercia mínimo de la sección; ρ_{min} radio de inercia mínimo de la sección $= \sqrt{\frac{J_{mín}}{s}}$; l_1 longitud libre de flexión en mm.			

Fig. IV, 57.

Límites de aplicación de las fórmulas de Euler

Sección					
rectangular (b)	hierro	$\frac{L}{b} > 15$	> 30	> 45	> 60
	fundición	$\frac{L}{b} > 11{,}5$	> 23	$> 34{,}5$	> 46
	madera	$\frac{L}{b} > 14{,}5$	> 29	$> 43{,}5$	> 58
circular (d)	hierro	$\frac{L}{d} > 13$	> 26	> 39	> 52
	fundición	$\frac{L}{d} > 10$	> 20	> 30	> 40
	madera	$\frac{L}{d} > 12{,}5$	> 25	$> 37{,}5$	> 50
anular (D, d)	hierro	$\frac{L}{\sqrt{D^2 + d^2}} > 13$	> 26	> 39	> 52
	fundición	$\frac{L}{\sqrt{D^2 + d^2}} > 10$	> 20	> 30	> 40

Fig. IV, 58.

El radio de inercia mínimo se determina sacando la raíz cuadrada del cociente del momento de inercia ecuatorial mínimo de la viga por su sección.

$$\varrho_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{S}}$$

La fórmula de Euler es aplicable mientras dicha relación de ligereza sea mayor que:

105 *para el hierro;*
80 *para la fundición;*
100 *para la madera.*

En la tabla (fig. IV, 58) estos límites vienen dados en función de las dimensiones de la sección, para algunas de las secciones más corrientes.

Fuera de los límites de aplicación de la fórmula de Euler, se aplican las fórmulas de la compresión simple, siempre que la relación de ligereza sea menor que:

75 *para el hierro;*
35 *para la fundición;*
45 *para la madera.*

Otras fórmulas que se pueden aplicar son la de *Tetmajer* y, sobre todo, la de *Rankine*, que es válida para todo valor de la relación de ligereza.

Fórmula de Rankine

$$P = \frac{KS}{1 + \alpha\left(\frac{l_1}{\varrho_{min}}\right)^2}$$

donde α, coeficiente que depende de la naturaleza del material, y **K**, carga de rotura, tienen los siguientes valores:

Material	α	K
Hierro	0,00015	10 kg/mm²
Fundición	0,0006	10
Madera	0,0006	0,5

Por ejemplo, se desea calcular la carga que admite un tubo de hierro vertical con **R** = 30, sujeto por su extremo mediante una bisagra, siendo **L** = 2500 mm, **D** = 130 mm, **d** = 126 mm. Nos encontramos en el segundo caso de la tabla: la fórmula de Euler será, en este caso:

$$P = 10\,\frac{EI_{min}}{L^2}\,\frac{K}{R}\,.$$

Es preciso, con todo, comprobar que nos encontramos en el campo de aplicación de la fórmula de Euler. Calculamos, para ello, la relación de ligereza λ. Tenemos:

$$I = 0{,}05(D^4 - d^4) = 0{,}05(130^4 - 126^4) \cong 2\,078\,000 \text{ mm}^4;$$

$$S = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = 13273 - 12469 = 804 \text{ mm}^2$$

$$\varrho = \sqrt{\frac{I}{S}} = \sqrt{\frac{2078000}{804}} \cong 50$$

y finalmente, siendo $l_1 = L$,

$$\lambda = \frac{l_1}{\varrho} = \frac{2500}{50} = 50.$$

Nos encontramos, pues, fuera de los límites de validez de la fórmula de Euler. Debemos aplicar, en consecuencia, la fórmula de Rankine, por ejemplo, que en este caso, nos da:

$$P = \frac{KS}{1 + \alpha\left(\frac{l_1}{\varrho_{min}}\right)^2} = \frac{1 + 0{,}00015 \cdot 50^2}{10 \cdot 804} = \frac{8040}{1{,}375} \cong 5800 \text{ kg}\,.$$

Si, por el contrario, la longitud **L** fuera de 6000 mm, la relación de ligereza habría resultado igual a 6000/50 = 120. En este caso habría sido aplicable la fórmula de Euler y habríamos obtenido el resultado siguiente:

$$P = \frac{10 \cdot 20\,000 \cdot 2\,078\,000}{6000^2} \cdot \frac{10}{30} \cong 3850 \text{ kg}.$$

En este mismo caso, la fórmula de Rankine habría dado:

$$P = \frac{KS}{1 + \alpha\left(\frac{l_1}{\varrho_{min}}\right)^2} = \frac{10 \cdot 804}{1 + 0{,}00015 \cdot 120^2} = \frac{8040}{3{,}16} \cong 2500 \text{ kg}\,.$$

Se observa, pues, que, en el campo de aplicación de la fórmula de Euler, la fórmula de Rankine da resultados mucho más estrictos.

30. Solicitación de torsión

Un sólido está sometido a torsión simple cuando la resultante de las fuerzas aplicadas se reduce a un par que actúa sobre un plano perpendicular al eje del cuerpo. Consideramos, por ejemplo, un sólido cilíndrico (fig. IV, 59). Sea M_t el momento de torsión del par; bajo su acción, entre dos secciones contiguas del sólido, aparece un desplazamiento de rotación α, conservándose planas todas las secciones del sólido; y se comprueba experimentalmente que, *dentro del límite de elasticidad, la tensión tangencial que aparece en cada fibra del sólido es proporcional a la distancia de la fibra al eje del sólido.* **La tensión máxima K′ se tendrá, pues, en la periferia del sólido.**

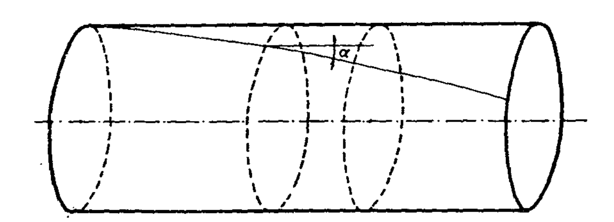


Fig. IV, 59. *Solicitación de torsión.*

Se demuestra también que:

$$K' = \frac{M_t r}{J_p}$$

es decir, que **la tensión unitaria máxima es directamente proporcional al momento de torsión M_t y al radio del cilindro, e inversamente proporcional al momento de inercia polar de la sección,** *respecto al centro* **O** *de la misma.*

Indicando, al igual que hicimos para la flexión, con W_t el módulo de resistencia a la torsión simple, definido por

$$W_t = \frac{J_p}{r},$$

tendremos:

$$K' = \frac{M_t}{W_t}.$$

W_t *es una magnitud de tercer orden, es decir, se mide en* mm^3. Al calcular las secciones, conocido el momento de torsión y el material con que se va a construir el sólido, y, por consiguiente, la tensión tangencial máxima admisible **K'**, se deduce:

$$W_t = \frac{M_t}{K'}.$$

Obtenido el módulo de resistencia a la torsión de la sección, por medio de tablas se calculan las dimensiones de la misma, cuya forma se habrá, evidentemente, determinado con anterioridad.

Al efectuar los cálculos de verificación, por el contrario, se calcula la tensión tangencial unitaria, efectuando el cociente M_t/W_t y se comprueba si éste es menor que el valor máximo admisible **K'**.

$$\frac{M_t}{W_t} \leq K'.$$

31. Solicitación compuesta de torsión y flexión

Si una fuerza **F** contenida en el plano de una sección recta de un sólido (fig. IV, 60) pasa a una distancia **a** del baricentro de la misma, añadiendo dos fuerzas iguales y de sentido contrario **F** y **—F**, de intensidad y dirección iguales a las de la fuerza dada, evidentemente, el sistema no varía. Queda reducido con ello a una fuerza **F**, que pasa por el baricentro de la sección, y a un par, de momento **F · a**, aplicado al plano de la sección. Basándose en lo dicho anteriormente, el cuerpo queda, pues, solicitado *a la torsión por causa del par* (que representa un momento

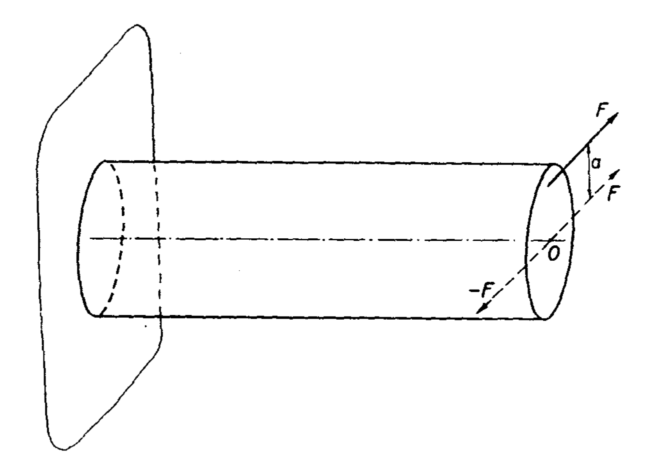


Fig. IV, 60. *Solicitación de flexión y torsión.*

de torsión) *y a la flexión, como consecuencia de la fuerza* **F**, que produce un momento flector. *Si la acción de esta última resulta* **despreciable, el sólido se podrá calcular para torsión simple,** *si lo despreciable por el contrario, es el momento de torsión, el sólido se podrá calcular para flexión simple;* **pero si ni la una ni el otro son despreciables, el sólido se halla sometido a una solicitación compuesta de torsión y flexión.**

En este caso *se puede calcular el sólido como si estuviera sujeto a flexión simple, sustituyendo el momento flector simple por el llamado* **momento flector ideal M_{if},** *que comprende también el efecto del momento de torsión y que se calcula mediante la* **fórmula de Poncelet:**

$$M_{if} = \frac{3}{8} M_f + \frac{5}{8}\sqrt{M_f^2 + M_t^2}.$$

Calculando el momento flector ideal, se puede aplicar inmediatamente la fórmula de la resistencia a la flexión:

$$K = \frac{M_{if}}{W_f}.$$

Existen otras fórmulas aproximadas, entre las que se encuentran las siguientes:

$M_{if} = M_f + 0{,}2\,M_t$ (cuando $M_t < M_f$, caso más frecuente);

$M_{if} = 0{,}6\,(M_f + M_t)$ (cuando $M_t > M_f$, caso más raro).

Este tipo de solicitación adquiere particular importancia en el cálculo de árboles de transmisión.

Existen, además, otras clases de solicitación compuesta, de las que no es necesario hablar aquí, puesto que su interés está fuera del campo del dibujante mecánico.

Capítulo V

MECANISMOS

32. Generalidades

Toda máquina se compone de una o varias de las máquinas simples (o de sus derivadas) ya estudiadas en la Física. Vamos ahora a ampliar, desde el punto de vista estrictamente mecánico, los conceptos fundamentales sobre las máquinas simples y los mecanismos de ellas derivados.

En toda máquina existe un órgano mecánico al que se aplica el trabajo motor $\mathbf{T}_a$ (trabajo absorbido); transmitiéndose desde éste, mediante una serie mayor o menor de mecanismos intermedios, al órgano en que se utiliza. En la transmisión tiene siempre lugar una cierta pérdida de trabajo (a efectos de su utilización), de modo que el trabajo útil $\mathbf{T}_u$ obtenido en la máquina es una fracción mayor o menor, pero siempre inferior a la unidad, del trabajo motor. *Se da el nombre de* **rendimiento** *a la relación entre el trabajo útil y el trabajo motor.*

$$\eta = \frac{\mathbf{T}_u}{\mathbf{T}_a}$$

Ejemplo: una de las máquinas más sencillas es la bicicleta. El trabajo motor lo suministran las piernas del ciclista a la polea o rueda dentada; mediante la cadena de transmisión, es transmitido al piñón de la rueda trasera, que utiliza la fracción del trabajo motor que necesita para desplazarse junto con su carga, por la carretera. El rendimiento es, en este caso, muy elevado, porque los órganos intermedios, además de ser pocos, tienen de por sí rendimientos óptimos. No obstante, hemos de recordar que, cuando son varios los órganos intermedios, cada uno de ellos tiene su propio rendimiento *y el rendimiento total viene dado por el* **producto de los rendimientos** *de los órganos individuales;* con lo que el producto final puede resultar muy pequeño.

Por ejemplo, si un mecanismo está constituido por tres pares de ruedas dentadas, que se transmiten sucesivamente el movimiento, con un rendimiento del 90 % cada una, el rendimiento total del mecanismo resulta ser:

$$\eta = 0{,}9 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}9 = 0{,}729$$

El hecho de que el trabajo útil sea menor que el trabajo motor es debido a la presencia de resistencias pasivas, esto es, los rozamientos y la resistencia del aire o del medio en general, de que hablábamos en el n.° **17,** y a otras causas.

Corrientemente se consideran *las máquinas funcionando en estado* **de régimen**, *lo que significa que el valor medio de la velocidad no sufre variaciones.* En este caso, *las consideraciones precedentes relativas a la transmisión del trabajo pueden repetirse para la transmisión de potencia.*

Los mecanismos simples de que vamos a tratar desde el punto de vista mecánico, se estudiaron desde el punto de vista de su dibujo, en la parte II.

33. Relaciones entre las fuerzas exteriores aplicadas a los mecanismos simples, teniendo en cuenta el rozamiento

El estudio de los mecanismos teniendo en cuenta el rozamiento, para aproximarse a sus condiciones reales de funcionamiento, es siempre bastante más complicado que el mismo estudio si se prescinde del rozamiento. Parece pues oportuno hacer tan sólo una breve exposición de un estudio de este género, limitándolo únicamente a las máquinas simples de la Física.

Es necesario advertir que, para establecer las relaciones que deben satisfacer las fuerzas exteriores aplicadas a cualquier máquina simple, es indispensable *distinguir el caso en que se desee el equilibrio estático de la máquina de aquel en que, por el contrario, se quiera tener la máquina en marcha.* En el primer caso, *las resistencias debidas al rozamiento que se oponen siempre al movimiento o a la tendencia al movimiento permite una* **disminución** de la fuerza (o del par) motor; *en el segundo, por el contrario, con la misma fuerza resistente* (fuerza útil) *exige un* **aumento** *de la fuerza motriz.* Cuanto acabamos de decir se evidencia considerando simplemente que un mecanismo con fuerte rozamiento podrá mantenerse en equilibrio, a pesar de aplicarle una fuerza motriz, aun en ausencia de fuerza resistente exterior o aplicándole una fuerza resistente exterior de cuantía mínima, mientras que para mantener en movimiento el citado mecanismo será preciso, a causa también del intenso rozamiento, un esfuerzo motor bastante mayor del que sería necesario, si el rozamiento no existiera o fuera muy reducido.

Establecido esto, he aquí algunos comentarios sobre cada una de las máquinas simples ya estudiadas en la Física.

Palanca. Cualquiera que sea la forma de una palanca y el número de fuerzas aplicadas, despreciando el rozamiento, la condición de equilibrio es: **La suma algebraica de los momentos de las fuerzas exteriores respecto al fulcro ha de ser nula.** Esta condición equivale prácticamente a decir que la resultante de las fuerzas aplicadas ha de pasar por el fulcro. En el caso de dos fuerzas tendríamos, pues (fig. IV, 61)

$$\mathbf{F}_1\mathbf{d}_1 = \mathbf{F}_2\mathbf{d}_2$$

deduciéndose a partir de esta ecuación el valor (ideal) de $\mathbf{F}_1$, conocidos $\mathbf{F}_2$ y los dos brazos.

Por ejemplo, siendo $\mathbf{d}_1 = 30$ mm; $\mathbf{d}_2 = 40$ mm; $\mathbf{F}_2 = 150$ kilogramos, tendríamos

$$\mathbf{F}_1 = \frac{\mathbf{F}_2\mathbf{d}_2}{\mathbf{d}_1} = \frac{150 \cdot 40}{30} = 200 \text{ kg.}$$

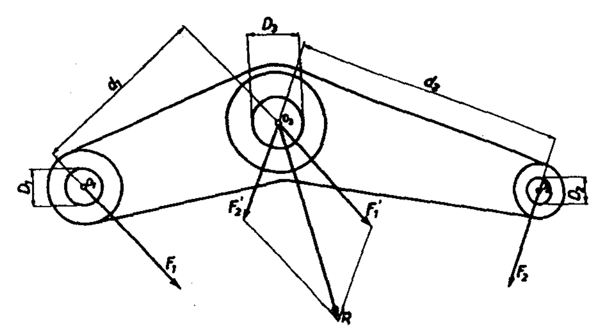


Fig. IV, 61. *Equilibrio de una palanca.*

En cambio, si tenemos en cuenta el rozamiento, sin salirnos del caso simple de fuerzas, motriz y resistente únicas, tenemos:

a) *Condición de equilibrio*: a los momentos de las fuerzas exteriores aplicadas se deben añadir los momentos de las resistencias de rozamiento; indicando con f_1, f_2, f_3, los coeficientes de rozamiento de los tres gorrones de diámetros D_1, D_2, D_3, respectivamente, los momentos de dichas resistencias son:

$$f_1 F_1 \frac{D_1}{2};\; f_2 F_2 \frac{D_2}{2};\; f_3 R \frac{D_3}{2}$$

Todos estos momentos son negativos, porque se oponen al movimiento, con lo que la condición de equilibrio será:

$$F'_1 d_1 = F_2 d_2 - f_1 F_1 \frac{D_1}{2} - f_2 F_2 \frac{D_2}{2} - f_3 R \frac{D_3}{2}$$

De esta ecuación se puede obtener F'_1 fuerza motriz real, menor que F_1.

Por ejemplo, refiriéndonos siempre a la figura IV, 61 y a los datos enunciados en el ejemplo anterior, si se tiene además: $D_1 = 8$ mm; $D_2 = 6$ mm; $D_3 = 10$ mm, resulta, en caso de equilibrio, siendo $f = 0{,}15$ para los 3 pasadores:

$$F_1 = \frac{F_2 d_2 - f_1 F_1 \frac{D_1}{2} - f_2 F_2 \frac{D_2}{2} f_3 - \frac{D_3}{2}}{d_1} =$$

$$= \frac{150 \cdot 40 - 0{,}15 \cdot 200 \cdot 4 - 0{,}15 \cdot 150 \cdot 3 - 0{,}15 \cdot 320 \cdot 5}{30} =$$

$$= \frac{6000 - 427{,}5}{30} \backsimeq 186 \text{ kg}.$$

b) *En movimiento* se tiene, en cambio:

$$F''_1 d_1 = F_2 d_2 + f_1 F_1 \frac{D_1}{2} + f_2 F_2 \frac{D_2}{2} + f_3 R \frac{D_3}{2},$$

de donde resulta F''_1 mayor que F_1.

El cálculo es sólo aproximado, puesto que el rozamiento en los pasadores se ha calculado tomando F_1 en lugar de F''_1: sin embargo, la diferencia es, en general, pequeña y la aproximación que se consigue es, pues, más que suficiente.

Con los datos de los ejemplos anteriores, tendríamos en este caso:

$$F''_1 = \frac{6000 + 427{,}5}{30} \backsimeq 215 \text{ kg}.$$

Polea fija. En el caso ideal (sin rozamiento), se tiene $F_1 = F_2$. En realidad hay rozamiento en el eje, que se tratará como en el caso precedente, y una resistencia en la flexión de la cuerda.

Plano inclinado. En el caso ideal (sin rozamiento), se establece el equilibrio cuando entre la fuerza motriz **F** (ideal) y el peso apoyado existe la relación:

$$F = P \frac{h}{l}$$

si **F** es paralela al plano (fig. IV, 62 *a*);

$$F = P \frac{b}{l}$$

si **F** es paralela a la base del plano (fig. IV, 62 *b*).

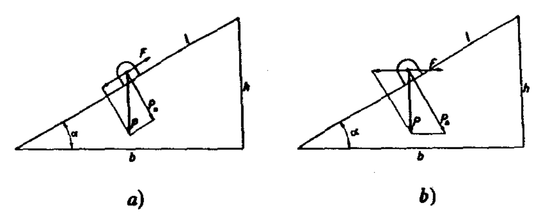


Fig. IV, 62. *Plano inclinado.* a) *La fuerza actúa paralela al plano.* b) *La fuerza actúa paralela a la base.*

Por ejemplo (fig. IV, 62 *a*), si las dimensiones del plano son: $h = 3$ m, $b = 4$ m, $l = 5$ m y se desea mantener en equilibrio un cuerpo que pesa 200 kg, la fuerza **F**, paralela al plano, necesaria es:

$$F = P \frac{h}{l} = \frac{200 \cdot 3}{5} = 120 \text{ kg}.$$

Si la fuerza fuese paralela a la base, tendríamos:

$$F = P \frac{b}{l} = \frac{200 \cdot 4}{5} = 160 \text{ kg}.$$

Teniendo en cuenta el rozamiento, la componente P_1 normal al plano provoca una resistencia de rozamiento igual a fP_1 que se opone al movimiento. En consecuencia:

a) *Para el equilibrio*, en el caso de una fuerza paralela al plano *se requiere una fuerza ideal* **F'**.

$$F' = \frac{Ph}{l} - fP_1 = \frac{Ph}{l} - fP \frac{b}{l}.$$

En el caso de que la fuerza sea paralela a la base, se procede análogamente.

Llamando α al ángulo formado por el plano con el horizonte, podemos, también, escribir

$$F' = P \operatorname{sen} \alpha - Pf \cos \alpha$$

En el caso del ejemplo precedente, suponiendo que el cuerpo sea de metal y que la superficie de contacto no esté lubricada, con lo que $f = 0{,}2$, se tiene, para el equilibrio, con la fuerza **F'** paralela al plano (fig. IV, 62 *a*):

$$F' = \frac{Ph}{l} - fP \frac{b}{l} = \frac{200 \cdot 3}{5} - 0{,}2 \frac{200 \cdot 4}{5} = 120 -$$

$$- 0{,}2 \cdot 160 = 88 \text{ kg}.$$

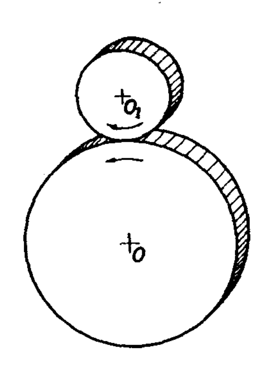


Fig. IV, 63. *Esquema de fricción cilíndrica exterior.*

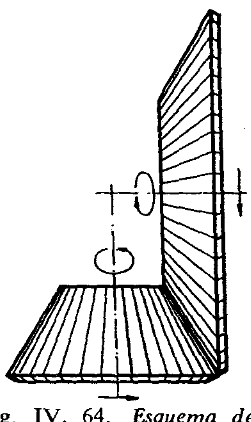


Fig. IV, 64. *Esquema de fricción cónica.*

b) *Para que el peso se deslice hacia abajo se requiere que:*

$$F'' = \frac{Ph}{l} + fP\frac{b}{l};$$

o también:

$$F'' = P \operatorname{sen} \alpha + Pf \cos \alpha$$

Tornillo. Si **r** es el radio medio del tornillo de paso **p**, φ el ángulo de rozamiento (véase n.° **17**), **P** la fuerza motriz actuando con un brazo **b**, **Q** la fuerza resistente aplicada según el eje del tornillo, el equilibrio se establece cuando:

$$P\frac{b}{r} = Q\frac{p}{2\pi r} = Q \operatorname{tg} \alpha,$$

despreciando el rozamiento, siendo α el ángulo de inclinación de la rosca respecto al plano perpendicular al eje del tornillo.

Por ejemplo, prescindiendo del rozamiento, para elevar un peso de 2000 kg con un tornillo que tiene un diámetro medio de 10 mm, 1 mm de paso, movido con una llave de 200 mm de brazo, el esfuerzo aplicado a ésta deberá ser:

$$P = Q\frac{r}{b}\frac{p}{2\pi r} = \frac{Qp}{2\pi b} = \frac{2000 \cdot 1}{6{,}28 \cdot 200} = \frac{10}{6{,}28} = 3{,}2 \text{ kg}.$$

Para tener en cuenta el rozamiento, el ángulo de rozamiento φ se suma o se resta a α, con lo que, para el equilibrio se requiere una fuerza **P′** menor que la ideal **P**, concretamente:

$$P' = Q\frac{r}{b} \operatorname{tg}(\alpha - \varphi);$$

para la elevación, en cambio, se requiere:

$$P'' > Q\frac{r}{b} \operatorname{tg}(\alpha + \varphi).$$

Cuña. No trataremos de esta máquina simple, principalmente porque puede considerarse como un doble plano inclinado; además en sus aplicaciones mecánicas (cizallas, utillaje de torno, etc.) intervienen generalmente otros fenómenos, que no permiten un estudio elemental del problema.

34. Generalidades sobre la transmisión de movimiento de rotación

Resumidas ya brevemente las nociones fundamentales sobre máquinas simples, podemos ahora iniciar el estudio de los distintos dispositivos de la mecánica aplicada. Empezaremos por la *transmisión del movimiento de rotación entre dos ejes.*

En la mayor parte de los casos, el problema se resuelve de una de las cuatro maneras siguientes:

a) *mediante ruedas de fricción;*

b) *mediante ruedas dentadas;*

c) *mediante transmisiones con órganos flexibles* (correas, cadenas, etcétera);

d) *mediante transmisiones hidráulicas.*

35. Ruedas de fricción

Cuando dos ruedas cilíndricas (fig. IV, 63) o cónicas (fig. IV, 64) están apoyadas, o mejor presionadas, una contra otra, si una de ellas *(rueda motriz)* está animada de un movimiento de rotación, continuo, la otra *(rueda conducida)* entra en rotación *arrastrada por la primera, a causa del rozamiento que aparece en la superficie de contacto entre ambas ruedas.*

Admitiendo que no haya desplazamiento entre ambas superficies en contacto, es evidente que los puntos en contacto tienen la misma velocidad periférica (véase n.° **5**) y, en consecuencia:

$$\pi n_1 D_1 = \pi n_2 D_2$$

o sea,

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1}.$$

En una transmisión con ruedas de fricción, existe, pues, **proporcionalidad inversa entre los diámetros de las ruedas y los números de revoluciones correspondientes.**

Las superficies de las dos ruedas que ruedan una sobre otra sin deslizar, se denominan superficies **primitivas** *de la transmisión.*

El contacto puede también tener lugar entre la superficie exterior de una rueda y la interior, de mayor

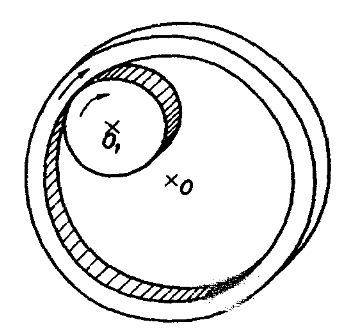


Fig. IV, 65. *Esquema de ruedas de fricción cilíndricas con contacto entre la superficie exterior de una y la superficie interior de la otra.*

diámetro, vaciada adecuadamente (fig. IV, 65). *En el caso de contacto entre superficies exteriores, el sentido de rotación de la rueda conducida es inverso al de la rueda conductora; en el caso de contacto de una superficie interior con otra exterior, los sentidos de rotación de ambas ruedas son iguales.*

Se define como **relación de transmisión** *la existente entre el número de revoluciones de la rueda conducida y el de la conductora, computadas en el mismo tiempo.*

Ejemplo: La rueda conducida da 300 revoluciones al tiempo que la conductora da 100; la relación de transmisión es 300/100 = 3.

La condición para el funcionamiento correcto, esto es, sin deslizamiento, de un par de ruedas de fricción, es que *la fuerza del rozamiento sea mayor que la fuerza tangencial* **T**, que una transmite a la otra.

Sabemos ya que las fuerzas se miden, en el sistema Giorgi, en newtons y en el sistema técnico en kg; y que un newton equivale a 1/9,8 kg. Midiendo, para simplificar, las fuerzas en kg, si **P** es la potencia a transmitir (en caballos) siendo $\mathbf{n}_1$ el. número de revoluciones por segundo de la rueda conductora de radio $\mathbf{D}_1$:

$$\mathbf{P} = \frac{\pi \mathbf{n}_1 \mathbf{D}_1 \mathbf{T}}{75}$$

o sea,

$$\mathbf{T} = \frac{75\,\mathbf{P}}{\pi \mathbf{n}_1 \mathbf{D}_1}.$$

La presión **N** entre ambas ruedas ha de ser suficiente para que, llamando **f** al coeficiente de rozamiento,

$$\mathbf{T} < \mathbf{fN}$$

Para superficies secas, los coeficientes de rozamiento son los siguientes:

fundición sobre fundición	entre 0,10 y 0,15;
fundición sobre carbón	entre 0,15 y 0,20;
fundición sobre metal	entre 0,20 y 0,30;
fundición sobre madera	entre 0,20 y 0,40;
madera sobre madera	entre 0,40 y 0,60;
fundición sobre ferodo	0,25

Por tanto, vistos estos valores de los coeficientes de rozamiento, la presión **N** habrá de ser de 2 a 5 veces mayor que **T**, según sean los materiales de las ruedas. Como que generalmente esto no puede aceptarse, se recurre a las ruedas con garganta cuneiforme (fig. IV, 66) con las que puede demostrarse (mediante cálculos que omitimos) que la presión necesaria es cerca de un tercio de la exigida por una rueda de fricción cilíndrica.

Naturalmente, *en este caso existe siempre un deslizamiento,* porque sólo una de las circunferencias de la rueda *(la primitiva)* gira sin deslizar sobre la circunferencia correspondiente a la segunda rueda. Para cualquier otro radio, no puede haber igualdad de velocidades periféricas y, por tanto, tendrá lugar un deslizamiento, además de la rodadura, con la consiguiente producción de calor y los problemas de refrigeración y consumo que ésta acarrearía.

Siendo, evidentemente, necesario tener en cuenta, también, las resistencias pasivas, deberá considerarse

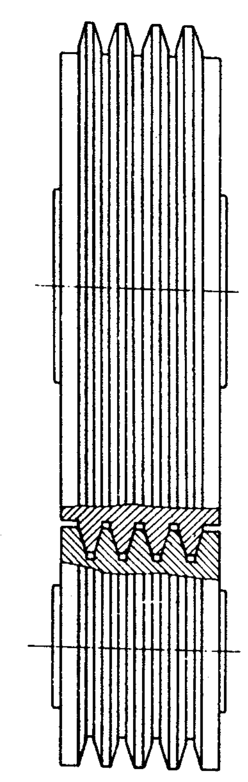


Fig. IV, 66. *Ruedas de fricción de gargantas cuneiformes.*

el hecho de que la presión entre las ruedas produce rozamiento en los ejes correspondientes, calculable de la forma ya conocida.

La lubricación de los cojinetes deberá, pues, ser muy cuidadosa.

36. Ruedas dentadas

Para permitir la transmisión del movimiento con ruedas de fricción, es preciso que la presión ejercida por una rueda sobre la otra sea tanto mayor cuanto más elevado sea el esfuerzo tangencial transmitido. Estas consideraciones explican las limitaciones en el empleo de las ruedas de fricción, que no podrán emplearse cuando se deba garantizar una relación de transmisión exacta, ya que en ellas no puede evitarse algún deslizamiento accidental, ni tampoco cuando los ejes no sean paralelos o concurrentes. Para sustituir las ruedas de fricción, se emplean, entonces, los engranajes.

Existen diversos tipos de engranajes:

a) **de ejes paralelos** { *de dientes rectos* / *de dientes helicoidales*

b) **de ejes concurrentes** { *de dientes rectos* / *de dientes helicoidales*

c) **de ejes cruzados** — *de dientes helicoidales*

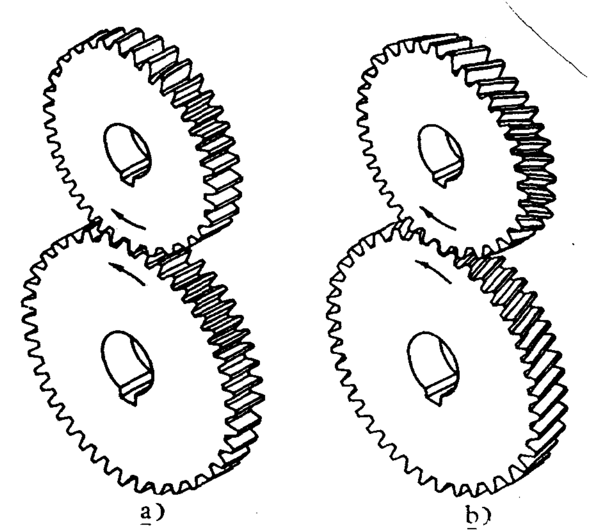


Fig. IV, 67. *Ruedas dentadas cilíndricas:* a) *de dientes rectos;* b) *de dientes helicoidales.*

Para dos engranajes cualesquiera (fig. IV, 67 *a*, *b*) con números de dientes $\mathbf{Z}_1$ y $\mathbf{Z}_2$, respectivamente, engranando entre sí, se considera como fundamental la siguiente ley:

La relación de transmisión viene dada por la relación entre el número de dientes de la rueda conductora y el de la conducida.

Esta relación de transmisión, si se tratase de ruedas de fricción, sería igual a la de los diámetros de las ruedas. Ahora bien, estos mismos diámetros, que en los engranajes no son visibles, son los de unas ruedas de fricción ideales, que tuvieran la misma relación de transmisión, y se llaman diámetros primitivos; en la transmisión del movimiento con engranajes, se puede considerar que todo ocurre como si las circunferencias primitivas rodasen una sobre otra, sin deslizar.

En consecuencia, refiriéndose a los diámetros primitivos, la misma ley hallada para las ruedas de fricción cilíndricas, vale para los engranajes:

$$\frac{\mathbf{n}_2}{\mathbf{n}_1} = \frac{\mathbf{D}_1}{\mathbf{D}_2}.$$

Consideremos ahora los elementos de un engranaje cilíndrico.

37. Ruedas dentadas cilíndricas de dientes rectos

Se llama **paso** *al arco de circunferencia primitiva correspondiente a un diente y a uno de los huecos contiguos.* Es evidente que dos ruedas podrán engranar tan sólo si tienen el mismo paso. Llamando **Z** al número de dientes, el diámetro **D** de la circunferencia primitiva está relacionado con el paso por la igualdad siguiente:

$$\mathbf{p} = \frac{\pi \mathbf{D}}{\mathbf{Z}}.$$

La construcción de una rueda dentada se efectúa basándose en su **módulo.** *El módulo de una rueda dentadu se define como la relación entre el diámetro de la circunferencia primitiva y su número de dientes:*

$$\mathbf{m} = \frac{\mathbf{D}}{\mathbf{Z}}.$$

De esta relación y de la anterior se deduce inmediatamente que:

$$\mathbf{p} = \pi \mathbf{m}$$

Por lo tanto, *dos ruedas que engranan entre sí tienen el mismo módulo.*

Los valores del módulo empleados en la práctica varían de cuarto en cuarto de milímetro entre 0,25 y 4 mm; de medio en medio milímetro para módulos comprendidos entre 4 y 7; de mm en mm entre 8 y 16, etc. Para módulos inferiores al milímetro, se tiende a efectuar la variación de décima en décima de milímetro.

Las dimensiones de los dientes se expresan en función del módulo. Para ruedas con dentado normal (fig. IV, 68) la altura de la cabeza del diente *(addendum)* es igual **al módulo**; la altura del pie *(dedendum)* es igual a **7/6 del módulo**; la *altura total del diente será, pues,* **13/6** *del módulo.*

El diente rebasa la circunferencia primitiva en una longitud igual al módulo; por tanto, *el diámetro de la circunferencia de cabeza de un engranaje es igual al de la circunferencia primitiva aumentado en dos veces el módulo:*

$$\mathbf{D}_c = \mathbf{D} + 2\mathbf{m}$$

De esta fórmula deducimos que, *deseando conocer el módulo de una rueda dentada ya construida basta dividir su diámetro de cabeza* (medible fácilmente con un calibre) *por el número de dientes más dos.*

No olvidemos nunca que **los diámetros obtenidos a partir de la relación de transmisión, son siempre los de las circunferencias primitivas.**

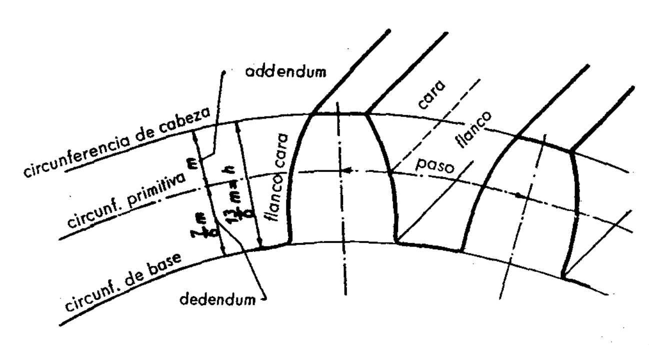


Fig. IV, 68. *Forma y proporciones de los dientes.*

Por ejemplo una rueda de módulo 3, con 40 dientes, tiene las siguientes dimensiones:

Diámetro primitivo: $\mathbf{D = Zm} = 120$ mm;
Diámetro de cabeza: $\mathbf{D_c = D + 2m} = 120 + 2 \cdot 3 = 126$ milímetros;
Diámetro de base: $\mathbf{D_b = D} - 2\frac{7}{6}\mathbf{m} = \mathbf{D} - \frac{7}{3}\mathbf{m} =$.
$= 120 - \frac{7}{3} 3 = 113$ mm;
Altura del diente: $\mathbf{h} = \frac{13}{6}\mathbf{m} = \frac{13}{6} 3 = 6{,}5$ mm;
Addendum (o cara): $\mathbf{c = m} = 3$ mm;
Dedendum (o flanco): $\mathbf{f} = \frac{7}{6}\mathbf{m} = 3{,}5$ m.

38. Ángulo de ataque

Para la transmisión continua del movimiento entre dos ruedas dentadas, basta que los dientes que engranan no abandonen su contacto hasta que engrane otro par de dientes. Imaginemos trazada la línea lugar geométrico de los puntos de contacto sucesivos entre dos dientes por el tiempo de duración del engrane, es decir, desde que se inicia hasta que termina el contacto entre los dientes considerados (fig. IV, 69). De acuerdo con lo dicho anteriormente, *si se desea mantener la continuidad del movimiento, es necesario que esta línea,* llamada **línea de engrane,** sea mayor que el paso de los dientes.

Debemos ahora tener presente el hecho de que el punto del diente que está en contacto con el de la otra rueda es distinto a cada instante, durante el tiempo que dura el engrane; en estas condiciones es evidente que *si el dentado de las ruedas no satisface ciertas exigencias particulares, la relación de transmisión no será constante, sino variable periódicamente;* puesto que las variaciones de la relación de transmisión se repetirán a cada par de dientes que entren en contacto.

Las condiciones particulares que deben satisfacer los dentados de las ruedas se exponen en los tratados de mecánica aplicada, pudiéndose enunciar en la forma siguiente. *El esfuerzo transmitido por la rueda conductora a la rueda conducida, se ejerce en cada instante según la normal común en el punto de contacto de los dos dientes que engranan.* Ahora bien, *esta normal común, llamada también* **curva de presiones, ha de pasar siempre por el punto de contacto O de las circunferencias primitivas,** *si se quiere que la relación de transmisión sea constante.*

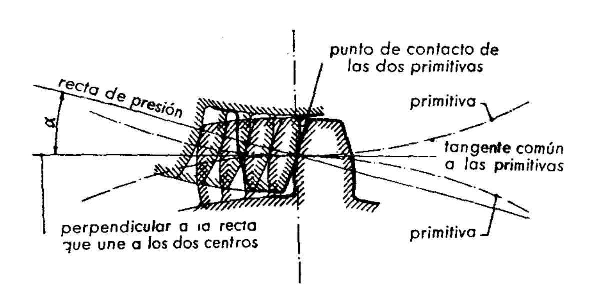


Fig. IV, 69. *Desplazamiento del punto de contacto entre dos dientes.*

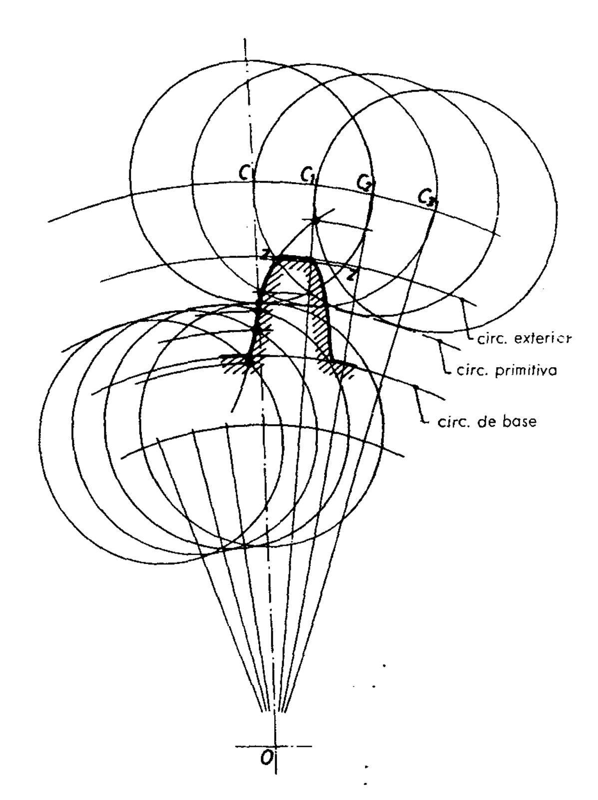
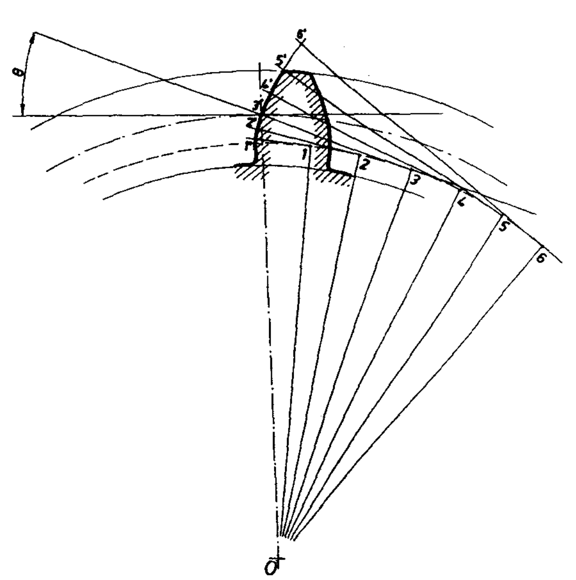


Fig. IV, 70. *Perfil cicloidal.*


Fig. IV, 71. *Perfil de evolvente.*

En consecuencia, el perfil de los dientes de los engranajes no puede trazarse al azar; al contrario ha de garantizarse que se verifique siempre la condición expuesta.

Para los dientes se pueden utilizar dos tipos de perfiles: **cicloidal** (fig. IV, 70) **y de evolvente** (fig. IV, 71). Este último, llamado también de desarrollante, se emplea mucho más que el otro por las múltiples

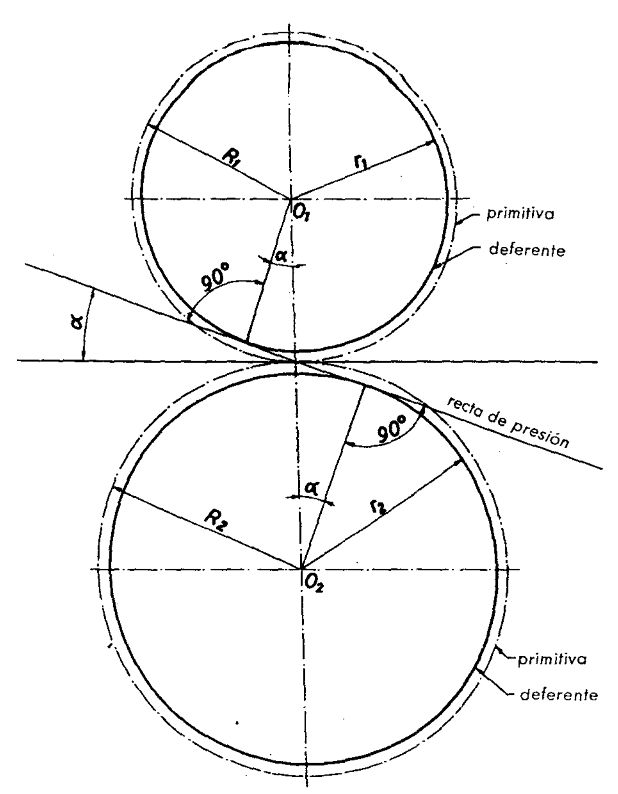


Fig. IV, 72. *Dentado de evolvente. Recta de presión.*

ventajas que, como veremos, presenta, pero no puede aplicarse cuando el número de dientes es muy pequeño.

En las figuras I, 125 y 126, se expusieron las definiciones de las curvas cicloidales y evolventes y se explicó su construcción. *Estas curvas son las descritas respectivamente por un punto de una circunferencia o de una recta, que rueda sin deslizar sobre una circunferencia, llamada* **deferente.**

En el dentado **cicloidal**, *la cabeza del diente está formada por un arco de epicicloide y el flanco por uno de hipocicloide, enlazados entre sí.* Mediante consideraciones y cálculos que se hallarán en los tratados de mecánica, se deduce que con dentados cicloidales se pueden fabricar engranajes hasta un mínimo de tan sólo 11 dientes.

En el dentado de **evolvente,** *el perfil completo del diente debería estar constituido por un arco de evolvente,* pero esto sólo se cumple si el radio de la circunferencia deferente es menor, o como máximo igual, a la circunferencia de base de la rueda. De no ser así tendría lugar interferencia entre ambas ruedas, es decir, los dientes de una chocarían con las bases de la otra.

Examinando la construcción de la evolvente, se comprueba que la condición fundamental antes enunciada para la uniformidad de la transmisión queda siempre satisfecha, y que la *línea de engrane,* que se mencionó, *es una recta, fija para cada par de ruedas, que pasa por el punto de contacto de las circunferencias primitivas y es tangente a las circunferencias deferentes de ambas ruedas. Esta recta, llamada* **recta de presión** *forma un ángulo* α, *llamado* **ángulo de ataque,** con la tangente a las circunferencias primitivas en el punto de contacto (o sea, a la perpendicular a la recta que une los centros de las ruedas, en el punto de contacto de las circunferencias primitivas). Del examen de la figura IV, 72 se deduce inmediatamente que los radios $\mathbf{r_1}$ y $\mathbf{r_2}$ de las circunferencias deferentes vienen dados por:

$$\mathbf{r_1} = \mathbf{R_1} \cos \alpha \qquad \mathbf{r_2} = \mathbf{R_2} \cos \alpha$$

Al aumentar el ángulo de ataque, aumenta la diferencia entre los radios de la circunferencia primitiva y de la deferente de cualquier rueda; pero al mismo tiempo aumenta la presión ejercida **en los cojinetes** *de las ruedas, con el consiguiente incremento del rozamiento.* Por ello el ángulo de ataque ha de estar limitado. En las ruedas antiguas el límite era de **15°**; en las modernas se ha elevado hasta **20°**, y sólo excepcionalmente alcanza valores mayores.

Con un ángulo de ataque de 20°, se halla que el número de dientes de un engranaje con perfil de evolvente no puede bajar de **38.** Es por este motivo que antes hemos dicho que *los engranajes con pocos dientes han de tener perfil cicloidal, que permite un número de dientes mínimo igual a* 11.

Para reducir el número de dientes de las ruedas con perfil de evolvente, se recurre a veces a los **dentados rebajados,** cuya altura de dientes no es **13/6** del módulo, sino menor, reduciéndose la altura de la cara a **0,9** y hasta a **0,8** módulos, y la del flanco a **1,05** ó **0,94** módulos.

Entre las ventajas que presenta el dentado de evolvente conviene señalar que, fijado el ángulo de ataque, **todas las ruedas construidas con el mismo módulo engranan entre sí, sin más requisito,** *de forma completamente satisfactoria;* lo cual no se cumple en los engranajes cicloidales.

No creemos necesario extendernos sobre el trazado de los perfiles exactos ni aproximados de los dientes (sólo, en el capítulo de dibujo técnico, tratamos del método de Grant), porque las modernas máquinas de tallar dientes están ya proyectadas para la realización de dentados casi perfectos. Por ello, sólo raras veces se presenta la necesidad de trazar un perfil de diente, por ejemplo, al proyectar una máquina de tallar engranajes o en la construcción de plantillas. Cualquier tratado de Mecánica trata este asunto con más o menos extensión: y a ellos remitimos a los eventuales interesados.

39. Notas sobre el cálculo de dentados

Todos los elementos de un engranaje cilíndrico se obtienen basándose en el módulo **m**.

Hemos dicho ya (véase n.° **38)** que, si se observa lo que ocurre realmente durante la transmisión de un

movimiento de rotación mediante un par de ruedas, se comprueba que en los engranajes cilíndricos con perfil de evolvente, la línea de acción, según la cual se aplica el esfuerzo **P**, coincide siempre con una recta llamada *recta de presiones*, que pasa por el punto de contacto de las circunferencias primitivas y forma con la tangente común a éstas un ángulo que, en los engranajes antiguos era de 15°; en las modernas de 20° y tiende, a veces, a aumentarse hasta los 30°.

Si la dirección del esfuerzo transmitido es constante, el punto de aplicación del mismo se desplaza periódicamente sobre el perfil del diente, es decir, por todos los puntos de la cara y del flanco de los dientes de la rueda motriz que están en contacto respectivamente con el flanco y la cara de la rueda conducida.

De entre los diversos procedimientos para calcular el módulo, trataremos solamente del de *Reuleaux*, que, incluso en las circunstancias más desfavorables, asegura un elevado índice de estabilidad. En dicho procedimiento de cálculo se supone:

a) *que sólo engranan un par de dientes cada vez, y por tanto soportan el esfuerzo íntegramente;*

b) *que el esfuerzo tangencial está concentrado en el extremo del diente* (fig. IV, 73).

El diente se calculará, pues, empleando la fórmula de la solicitación a flexión para un sólido empotrado

$$\mathbf{K} = \frac{\mathbf{M}_f}{\mathbf{W}_f}.$$

Se tiene que:

$$\mathbf{M}_f = \mathbf{P} \cdot \mathbf{h} \qquad \mathbf{W}_f = \frac{1}{6} ls^2.$$

Por lo tanto, supuesto

$$\mathbf{h} = \frac{13}{6}\mathbf{m};\ \ \mathbf{s} = \frac{\mathbf{P}}{2} = \frac{\pi \mathbf{m}}{2};\ \ l = 10\ \mathbf{m};\ \ \pi^2 \backsimeq 10\,.$$

tenemos:

$$\mathbf{K} = \frac{6\mathbf{Ph}}{ls^2} = \frac{6\mathbf{P}}{10\mathbf{m}} \cdot \frac{13}{6}\mathbf{m} \cdot \frac{2^2}{\pi^2 \mathbf{m}^2} = \frac{0{,}52\mathbf{P}}{\mathbf{m}^2};$$

o sea,

$$\mathbf{m} \backsimeq \sqrt{\frac{\mathbf{P}}{2\mathbf{K}}},$$

fórmula fácil de emplear cuando se conoce el esfuerze periférico a transmitir.

Por ejemplo, se desea transmitir un esfuerzo de 3000 kg mediante un par de engranajes. Fijado $\mathbf{K} = 10$ kg/mm², se deduce

$$\mathbf{m} = \sqrt{\frac{\mathbf{P}}{2\mathbf{K}}} = \sqrt{\frac{3000}{2 \cdot 20}} = \sqrt{150} = 12{,}24;$$

valor teórico que redondeamos a 13 mm.

Si se da la potencia **N** a transmitir y el número $\mathbf{n}_1$ de revoluciones por minuto de la conductora, el momento de torsión se calcula de la forma corriente recordando la fórmula de la potencia:

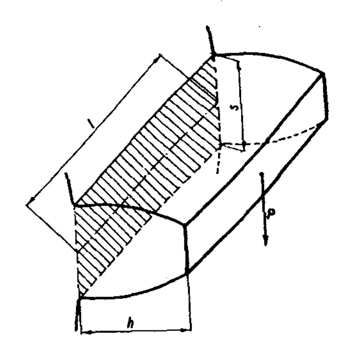


Fig. IV, 73. *Un diente recto es un sólido empotrado que tiene una sección de ataque* S = s × l, *rayada en la figura.*

$$\mathbf{N} = \frac{2\pi \mathbf{n}_1 \mathbf{M}_t}{60 \times 75},$$

de donde,

$$\mathbf{M}_t = \frac{60 \times 75 \times \mathbf{N}}{2\pi \mathbf{n}_1}.$$

El esfuerzo periférico **P** se obtiene partiendo de $\mathbf{M}_t$

$$\mathbf{M}_t = \mathbf{PR}_1 = \frac{\mathbf{PD}_1}{2} = \frac{\mathbf{Pmz}_1}{2}$$

de donde,

$$\mathbf{P} = \frac{2\mathbf{M}_t}{\mathbf{mz}_1}.$$

Sustituyendo este valor en la expresión del módulo obtenido anteriormente, resulta:

$$\mathbf{m} = \sqrt{\frac{\mathbf{P}}{2\mathbf{K}}} = \sqrt{\frac{2\mathbf{M}_t}{2\mathbf{Kmz}_1}} = \sqrt{\frac{\mathbf{M}_t}{\mathbf{Kmz}_1}}$$

Elevando al cuadrado, queda:

$$\mathbf{m}^2 = \frac{\mathbf{M}_t}{\mathbf{Kmz}_1} \quad \text{o sea} \quad \mathbf{m}^3 = \frac{\mathbf{M}_t}{\mathbf{Kz}_1}$$

y finalmente,

$$\mathbf{m} = \sqrt[3]{\frac{\mathbf{M}_t}{\mathbf{Kz}_1}}.$$

Para utilizar esta segunda fórmula debe, pues, conocerse, además del momento de torsión el número de dientes de la rueda pequeña: si se desconoce, el problema resulta indeterminado; pudiendo tenerse varios valores distintos para el módulo.

En las dos fórmulas obtenidas, con los criterios establecidos *se admite implícitamente que el módulo es independiente de la velocidad.* Esto es, realmente, admisible sólo para ruedas cuya velocidad periférica sea menor que 0,5 m/seg. En cualquier otro caso, la

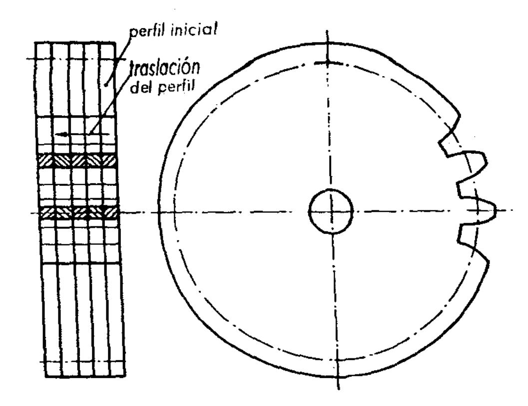


Fig. IV, 74. *Generación de un dentado cilíndrico.*

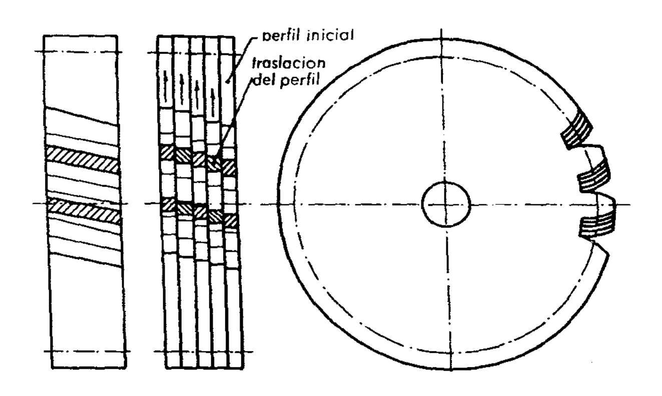


Fig. IV, 75. *Generación de un dentado helicoidal.*

carga de seguridad normal tendrá que sustituirse por una *carga de seguridad variable* $\mathbf{K}_v$, cuyo valor viene dado por la relación deducida experimentalmente:

$$\mathbf{K}_v = \mathbf{K}\frac{3}{3+\mathbf{v}}$$

donde $\mathbf{v}$ es la velocidad periférica en m/seg.

El número de radios de las ruedas se toma de

$$\mathbf{i} \cong 0{,}15\sqrt{\mathbf{D}},$$

siendo **D** el diámetro primitivo en mm; **i** no es nunca inferior a 4 y, evidentemente, es un número entero. Si el diámetro es pequeño, los radios se sustituyen por un disco lleno de 1,5 módulos de espesor.

Los restantes datos prácticos para el cálculo de engranajes están expuestos en la parte II, al tratar de la representación gráfica de engranajes.

Por ejemplo, si se desea transmitir una potencia de 5 CV con un engranaje, cuya conductora efectúa 200 r.p.m. y tiene 24 dientes, $\mathbf{K} = 10$ kg/mm², el módulo se calcula mediante: $\mathbf{m} = \sqrt[3]{\frac{\mathbf{M}_t}{\mathbf{K}\mathbf{Z}_1}}$, calculando primeramente $\mathbf{M}_t$ y $\mathbf{K}$; debiendo determinarse ésta basándose en la velocidad periférica de la rueda.

Por tanto:

$$\mathbf{M}_t = \frac{60 \cdot 75 \cdot \mathbf{N}}{2\pi \mathbf{n}_1} = \frac{60 \cdot 75 \cdot 5}{6{,}28 \cdot 200} = 18 \text{ kgm};$$

en primera aproximación, hacemos $\mathbf{K} = 6$ kg/mm², obteniéndose:

$$\mathbf{m} = \sqrt[3]{\frac{18\,000}{6{,}24}} = 5 \text{ mm}.$$

Para este valor, el diámetro primitivo resulta $\mathbf{D}_1 = \mathbf{Z}_1\mathbf{m} = 120$ mm; la velocidad periférica es:

$$\mathbf{v} = \frac{\pi \mathbf{D}_1 \mathbf{n}_1}{60} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}120 \cdot 200}{60} \cong 1{,}26 \text{ m/s}.$$

Comprobemos, ahora, **K**: tenemos:

$$\mathbf{K}_v = \mathbf{K}\frac{3}{3+\mathbf{v}} = 10\,\frac{3}{3+1{,}26} = \frac{30}{4{,}26} \cong 7 \text{ kg/mm}^2$$

Resultando $\mathbf{K}_v$ mayor que la que hemos supuesto provisionalmente, el cálculo es aceptable.

40. Dentados helicoidales para engranajes cilíndricos

Vimos en los apartados anteriores que la continuidad de la transmisión del movimiento queda garantizada si se cumple la condición de que cada par de dientes no pierda su contacto hasta que lo inicie el par de dientes siguiente. No obstante, el hecho de que el cese de contacto de un par de dientes tenga lugar *al mismo tiempo* en toda su longitud axial y que el engrane del nuevo par de dientes se inicie también de golpe *en toda su longitud*, da origen a choques, vibraciones, ruidos, etc. Para reducir estos inconvenientes se recurre a los *dentados helicoidales*. En los engranajes cilíndricos, el dentado puede considerarse como engendrado por la traslación axial del perfil del engranaje (fig. IV, 74). Si esta traslación axial va acompañada de un movimiento continuo de rotación (fig. IV, 75), es decir, si el movimiento generador es helicoidal, nace un engranaje helicoidal, que viene a formar parte del mismo movimiento.

Se comprende fácilmente que la transmisión del movimiento con engranajes helicoidales resulta más suave y regular, porque el abandono del contacto entre un par de dientes se efectúa siempre gradualmente.

En estos engranajes, sin embargo, *el empuje que realiza la rueda conductora sobre la conducida no es perpendicular al eje de las mismas, sino oblicuo;* dicho empuje se descompone en una componente ortogonal al eje (figura IV, 76), y otra paralela al mismo, que será tanto mayor cuanto mayor sea la inclinación de los dientes. Cuando se trate de ruedas que transmiten esfuerzos (por ejemplo, en los laminadores), aunque se procura limitar este empuje

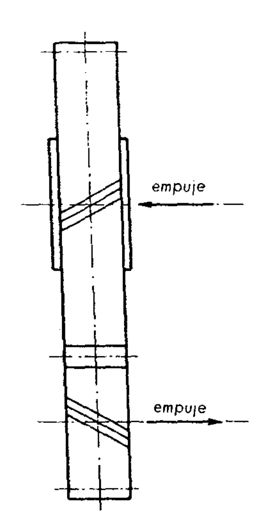


Fig. IV, 76. *Los dentados helicoidales producen empujes axiales.*

axial, dando valores reducidos a la inclinación de los dientes (20 — 30°), puede ser fortísimo y dar origen a graves inconvenientes. Por esto, se ha estudiado la posibilidad de evitarlo completamente, recurriendo a los engranajes en flecha (fig. IV, 77), en los que los dientes están constituidos por dos partes, simétricas respecto al plano medio, perpendicular al eje; cada una de ambas partes da origen a un empuje axial, pero siendo de sentidos contrarios entre sí, se contrarrestan mutuamente. Naturalmente, su construcción es siempre más difícil que la de los engranajes helicoidales normales.

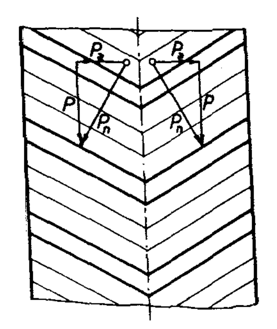


Fig. IV, 77. *En los dentados en flecha hay dos empujes axiales iguales, que se anulan.*

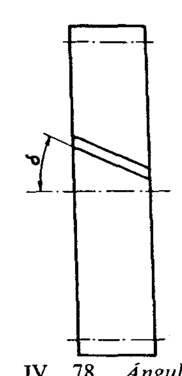


Fig. IV, 78. *Ángulo de inclinación de un diente helicoidal.*

Otra ventaja de los dentados helicoidales sobre los engranajes cilíndricos se comprenderá con los razonamientos siguientes:

Dijimos en el n.° **38** que para reducir el número de dientes al mínimo que se puede aceptar en un piñón, se podía recurrir a los dentados rebajados.

Dijimos también que en un par de engranajes se da el nombre de línea de engrane al lugar geométrico de los puntos de contacto entre cada par de dientes. Esta línea se extiende pues por todo el arco recorrido por uno de los engranajes desde el instante en que se inicia el contacto de los dientes hasta aquel en que cesa. Dijimos, en fin, que, para tener continuidad en la transmisión, es necesario, evidentemente, que el arco de engrane sea mayor que el paso, debido a que dos dientes no deben abandonar su contacto antes de que otro par lo inicie.

Con los dentados rebajados se tiene además la ventaja de que el deslizamiento entre los dientes en contacto es menor que en los dentados normales; sin embargo, si el rebaje no está comprendido dentro de ciertos límites, puede llegarse al caso de que el arco de engrane sea menor que el paso, perdiéndose con ello la continuidad de la transmisión.

Es, por tanto, éste otro motivo de la introducción de los dentados helicoidales en los engranajes cilíndricos. En ellos, en efecto, el engranaje entre un par de dientes dura más que en los engranajes cilíndricos de dientes rectos.

Obsérvese que, regularmente, *la longitud axial de un diente de un engranaje de este tipo es tan pequeña, comparada con el paso de la hélice, que los dientes pueden considerarse como rectilíneos, aunque debidamente inclinados, respecto a la dirección axial* (fig. IV, 78).

Examinando una rueda dentada cilíndrica helicoidal, pueden distinguirse tres perfiles distintos del dentado, concretamente (fig. IV, 79);

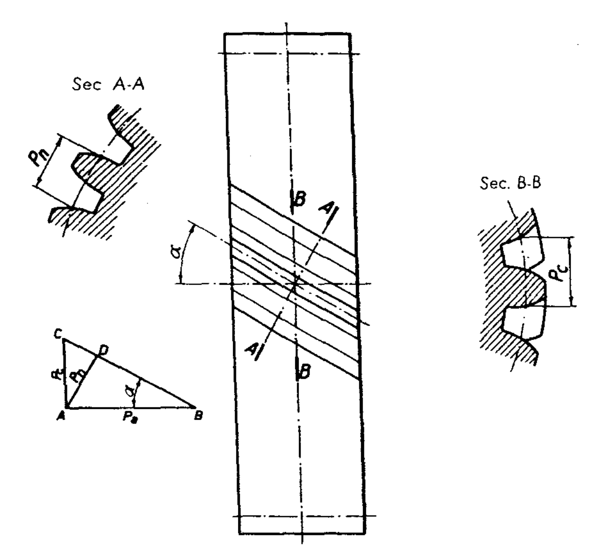


Fig. IV, 79. *Los pasos de los dentados helicoidales.*

a) **perfil frontal,** o *circunferencial* o *tangencial:* que es el que se ve mirando la rueda de frente, o también, el perfil obtenido cortando la rueda por medio de un plano perpendicular al eje de rotación.

b) **perfil normal,** que se obtiene cortando la rueda con un plano normal al eje del diente considerado.

c) **perfil axial,** que se obtiene cortando la rueda mediante un plano que pasa por el eje de rotación.

Correspondiendo con los perfiles citados, tenemos los tres pasos y los tres módulos siguientes:

paso circunferencial $\mathbf{p}_c$
paso normal $\mathbf{p}_n$
paso axial $\mathbf{p}_a$
módulo circunferencial $\mathbf{m}_c$

$$\mathbf{p}_c = \pi \mathbf{m}_c$$

módulo normal $\mathbf{m}_n$

$$\mathbf{p}_n = \pi \mathbf{m}_n$$

módulo axial $\mathbf{m}_a$

$$\mathbf{p}_a = \pi \mathbf{m}_a$$

Llamando δ al ángulo de inclinación del diente respecto a la dirección del eje de la rueda, **P**, que es el esfuerzo útil necesario para efectuar la rotación (fuerza normal a la generatriz del cilindro del que se obtuvo la rueda), viene dado por:

$$\mathbf{P} = \mathbf{P}_n \cos \delta ;$$

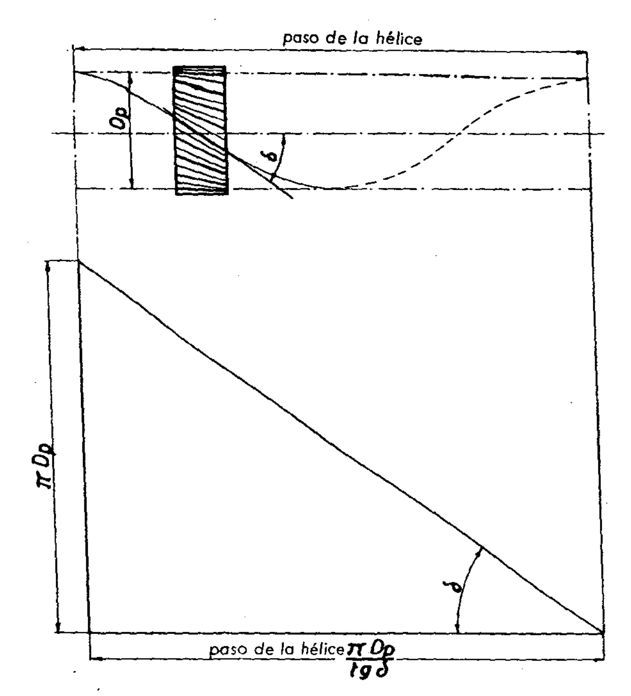


Fig. IV, 80. *Paso de la hélice de un dentado helicoidal.*

siendo $\mathbf{P}_n$ el esfuerzo que se ejerce perpendicularmente a la longitud del diente; el empuje axial es:

$$\mathbf{P}_a = \mathbf{P}_n \ \mathbf{sen}\ \delta \ ;$$

es decir:

$$\mathbf{P}_a = \mathbf{P}_n \,\mathbf{sen}\,\delta = \mathbf{P}\frac{\mathbf{sen}\,\delta}{\mathbf{cos}\,\delta} = \mathbf{P}\,\mathbf{tg}\,\delta\,.$$

Es pues evidente que:

$$\mathbf{p}_c = \frac{\mathbf{p}_n}{\mathbf{cos}\,\delta} \qquad \mathbf{p}_n = \mathbf{p}_c \,\mathbf{cos}\,\delta$$

y, en consecuencia

$$\mathbf{m}_c = \frac{\mathbf{m}_n}{\mathbf{cos}\,\delta} \qquad \mathbf{m}_n = \mathbf{m}_c \,\mathbf{cos}\,\delta\,.$$

El paso axial se obtiene dividiendo el paso de la hélice por el número de dientes; y como que (fig. IV, 80) el paso de la hélice es:

$$\mathbf{p}_e = \frac{\pi\mathbf{D}}{\mathbf{tg}\,\delta} = \frac{\pi\mathbf{m}_c\mathbf{z}}{\mathbf{tg}\,\delta}\,,$$

se deduce:

$$\mathbf{p}_a = \frac{\pi\mathbf{D}}{\mathbf{z}\,\mathbf{tg}\,\delta} = \frac{\pi\mathbf{m}_c\mathbf{z}}{\mathbf{z}\,\mathbf{tg}\,\delta} = \frac{\pi\mathbf{m}_c}{\mathbf{tg}\,\delta}\,.$$

Por ejemplo, si la inclinación de la hélice es de 12°, el módulo normal es 3, y el número de dientes 30, tendremos:

módulo circunferencial:

$$\mathbf{m}_c = \frac{\mathbf{m}_n}{\cos 8} = \frac{3}{\cos 12^\circ} = \frac{3}{0{,}978} = 3{,}32;$$

paso de la hélice:

$$\mathbf{P}_e = \frac{\pi\mathbf{m}_c\mathbf{z}}{\mathrm{tg}\,\delta} = \frac{3{,}14 \cdot 3{,}32 \cdot 30}{0{,}212} = 1475 \text{ mm};$$

paso axial:

$$\mathbf{P}_a = \frac{\pi\mathbf{m}_c}{\mathbf{z}} = \frac{3{,}14 \cdot 3{,}32}{0{,}212} \cong 4{,}9 \text{ mm}.$$

Cuando $\delta = \mathbf{0}$, volvemos al caso de dentados cilíndricos rectos; desaparece el empuje axial y las magnitudes circunferenciales y normales coinciden.

41. Ruedas dentadas cónicas

Cuando los ejes entre los que hay que transmitir el movimiento concurren en un punto, podemos imaginar (en vez de dos cilindros de fricción, como en el caso de ejes paralelos), dos conos de fricción, que se transmiten el movimiento rodando el uno sobre el otro (fig. IV, 81). Los engranajes cónicos pueden considerarse derivados de dichos conos (fig. IV, 82).

En lo que respecta al perfil de los dientes de un par de ruedas dentadas cónicas, consideremos primeramente los dos conos de semiaberturas α y β, que pertenecen a las ruedas, cuyo vértice común es **O** (fig. IV, 83).

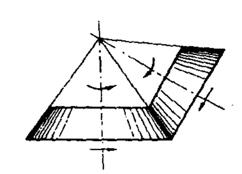


Fig. IV, 81. *Conos de fricción.*

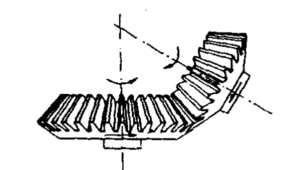


Fig. IV, 82. *Ruedas dentadas cónicas.*

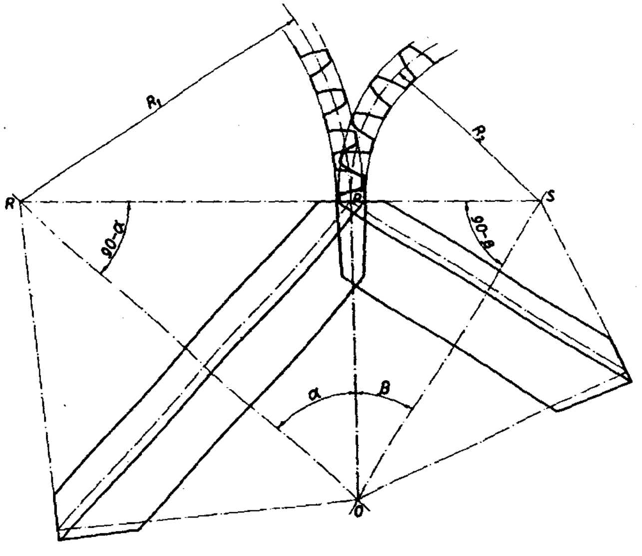


Fig. IV, 83. *Conos complementarios y dentado de las ruedas cónicas.*

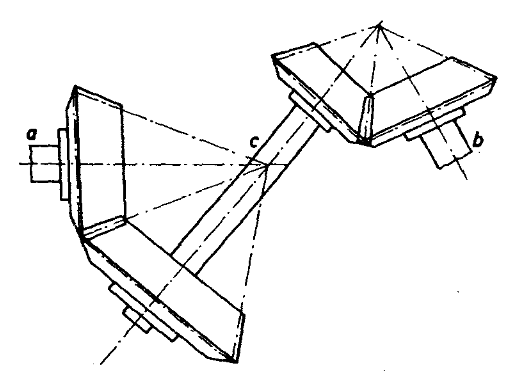


Fig. IV, 84. *Con 4 ruedas cónicas se puede transmitir el movimiento entre dos ejes que se cruzan* a *y* b.

Consideremos a continuación los conos complementarios, trazando por el punto **P** común a ambas ruedas, la perpendicular a la generatriz de contacto **OP,** hasta cortar en **R** y **S** los ejes de los conos **PR** y **PS** (fig. IV, 83) que tomamos como generatrices de los conos complementarios de vértices **R** y **S.**.

Desarrollemos, ahora, estos conos complementarios. Sabemos (fig. I, 315) que la superficie lateral de un cono da origen a un sector circular. Después de dibujar los dentados correspondientes sobre cada uno de los sectores, como para los engranajes cilíndricos, se proyectan los dientes desde el vértice **O** de los conos. De esta forma los dentados quedan como se ve en la figura.

Con cuatro engranajes cónicos puede resolverse el problema de la transmisión de movimientos rotatorios entre árboles **a** y **b** que se cruzan (fig. IV, 84). Se dispone una rueda en el eje **a;** un par sobre un eje auxiliar **c,** que une **a** y **b**; la cuarta rueda en el árbol **b.** La relación de transmisión se calcula de la forma habitual, en el número de dientes.

Lo que respecta al dimensionado de los engranajes cónicos, está tratado en el capítulo correspondiente de dibujo (Parte II).

42. Transmisión del movimiento entre ejes que se cruzan, mediante engranajes helicoidales

Para transmisiones de poca potencia, pero de precisión, entre dos ejes que se cruzan se recurre generalmente a los engranajes helicoidales, como indica la figura IV, 85.

Las definiciones de **paso normal, paso circunferencial** y **paso axial** introducidas para engranajes cilíndricos helicoidales, pueden hacerse extensivas a estos engranajes (fig. IV, 86).

No obstante, existen también numerosas diferencias y es preciso tener conceptos muy claros sobre ellos, para evitar confusiones y equívocos.

Proyectando, sobre el plano del dibujo, el conjunto de dos engranajes helicoidales acoplados a ejes que

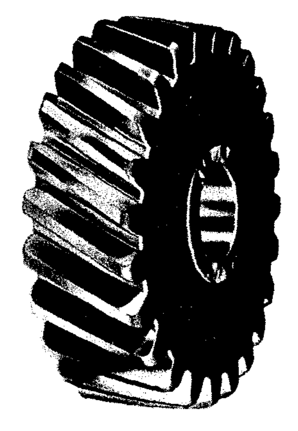


Fig. IV, 85. *Fotografía de una rueda dentada helicoidal.*

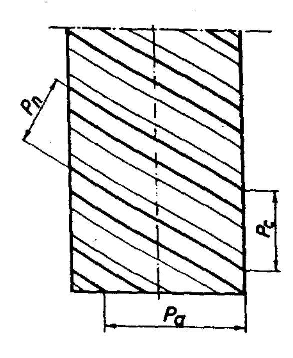


Fig. IV, 86. *Paso normal, paso axial y paso circunferencial de una rueda dentada helicoidal.*

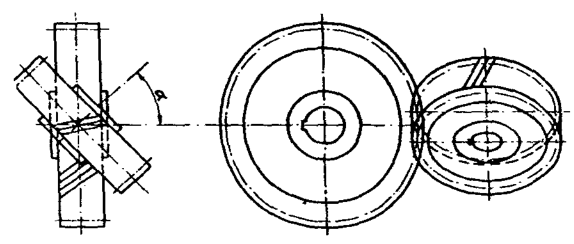


Fig. IV, 87. *Transmisión entre ejes que se cruzan con dos ruedas dentadas helicoidales.*

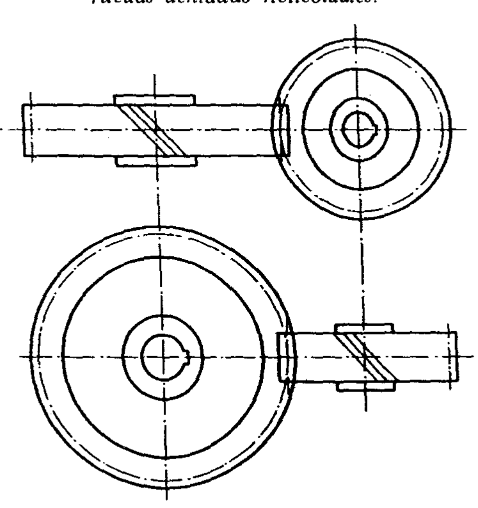


Fig. IV, 88. *El caso más general es que los ejes sean ortogonales.*



Fig. IV, 89. *Fotografía de un par tornillo sin fin-engranaje helicoidal.*

se cruzan, se obtienen dos rectas formando un ángulo α (fig. IV, 87) menor o igual a 90°. En el segundo caso, que es el más frecuente, se dice que el engranaje es de ejes cruzados ortogonales (fig. IV, 88).

El número de dientes del piñón generalmente es mayor que 5. En caso contrario el mecanismo, en lugar de estar formado por dos ruedas resulta constituido por una **rueda helicoidal y un tornillo sin fin** (de 1, 2, 3, 4, 5 entradas) (fig. IV, 89).

Se observa inmediatamente que, *mientras que en las ruedas helicoidales de ejes paralelos, los dientes tienen* **inclinaciones iguales y opuestas** (siendo en una de ellas de hélice derecha y en la otra de hélice izquierda), **en los engranajes helicoidales de ejes cruzados las hélices de ambas ruedas tienen el mismo sentido.**

El esfuerzo periférico a transmitir queda concentrado en una zona muy estrecha, en la que, durante la transmisión, *tiene lugar un fuerte rozamiento de frotamiento y una notable tendencia al desgaste en tal zona. Ambas ruedas deben ocupar su* **posición exacta** *mutua una vez fijadas a sus árboles respectivos, debiendo pasar el plano medio de cada rueda por la normal común a los ejes de rotación de los mismos, y debiendo ser, la suma de los radios de las circunferencias primitivas, igual a la distancia entre ejes.*

Lo dicho hará comprender por qué los engranajes helicoidales de ejes cruzados, como ya hemos dicho, sólo tienen utilidad para transmisiones de precisión, en las que los esfuerzos sean pequeños.

Un par de ruedas helicoidales tiene sus elementos constructivos calculables a base del *módulo normal;* el engrane es posible solamente si ambas ruedas tienen el mismo paso normal; esto se aplica tanto a los engranes de ejes paralelos como a los de ejes cruzados.

En las ruedas dentadas helicoidales de ejes cruzados, el ángulo de inclinación de los dientes es, normalmente distinto. Por lo tanto, **en las dos ruedas de uno de estos engranajes son iguales únicamente todos los elementos que dependen del módulo normal,** *al revés de lo que ocurre con los que dependen de la inclinación de los dientes, que son distintos.*

Resumiendo, los elementos de un par de ruedas helicoidales de ejes cruzados, están indicados en la tabla siguiente: los elementos comunes a ambas ruedas se han dispuesto en la parte central de la tabla.

Teniendo presente que, siendo, por ejemplo, para la primera rueda

$$\mathbf{P}_n = \mathbf{P}_{c1} \cos \delta_1 \qquad \mathbf{P}_n = \mathbf{P}_{a1} \operatorname{sen} \delta_1$$

y análogamente para la segunda, se tiene, igualando los valores de $\mathbf{P}_n$,

$$\frac{\mathbf{p}_{c1}}{\mathbf{p}_{a1}} = \operatorname{tg} \delta_1 \qquad \frac{\mathbf{p}_{c2}}{\mathbf{p}_{a2}} = \operatorname{tg} \delta_2 .$$

Sin extendernos excesivamente en demostraciones que se hallan en cualquier tratado de mecánica aplicada, exponemos algunos resultados:

a) **La componente de la velocidad del punto de contacto entre las circunferencias primitivas,** según la normal a la superficie de contacto, **ha de ser la misma para ambas ruedas.**

b) **La relación de transmisión τ viene dada por**

$$\tau = \frac{\mathbf{D}_1}{\mathbf{D}_2} \frac{\cos \delta_1}{\cos \delta_2} .$$

Estos engranajes se emplean generalmente en ejes ortogonales; en este caso, siendo δ_1 y δ_2 complementarios y por tanto $\cos \delta_2 = \operatorname{sen} \delta_1$, se deduce

$$\tau = \frac{\mathbf{D}_1}{\mathbf{D}_2} \frac{1}{\operatorname{tg} \delta_1}$$

es decir: **la relación de transmisión es igual a la relación de los diámetros primitivos de las ruedas, multiplicada por la inversa de la tangente de la inclinación de los dientes de la rueda conductora.**

Si $\mathbf{D}_1 = \mathbf{D}_2$, con ejes formando un ángulo cualquiera, la relación de transmisión se hace:

$$\tau = \frac{\cos \delta_1}{\cos \delta_2} ,$$

lo que significa que **con un par de ruedas helicoidales de ejes cruzados, de diámetros primitivos iguales, puede obtenerse cualquier relación de transmisión variando solamente los ángulos de inclinación de los dientes.**

Si además los ejes son ortogonales, queda:

$$\tau = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta_1} .$$

Elementos de la rueda	Rueda 1 (piñón)	Rueda 2
Ángulo de inclinación	δ_1	δ_2
Módulo normal	m_n	
Paso normal	$P_n = \pi m_n$	
Espesor normal del diente	$s_n = \frac{\pi m_n}{2} - 0{,}025 m_n$	
Hueco normal	$v_n = p_n - s_n$	
Altura de la cara	m_n	
Altura del flanco	$\frac{7}{6} m_n$	
Anchura de la cara dentada	$l < 9m_n$	
Módulo circunferencial	$m_{c1} = \frac{m_n}{\cos \delta_1}$	$m_{c2} = \frac{m_n}{\cos \delta_2}$
Espesor circunferencial	$s_{c1} = \frac{s_n}{\cos \delta_1}$	$s_{c2} = \frac{s_n}{\cos \delta_2}$
Hueco circunferencial	$v_{c1} = \frac{v_n}{\cos \delta_1}$	$v_{c2} = \frac{v_n}{\cos \delta_2}$
Longitud de los dientes en contacto	$l_{c1} = \frac{l}{\cos \delta_1}$	$l_{c2} = \frac{l}{\cos \delta_2}$
Diámetro primitivo	$D_{p1} = m_{c1} z_1$	$D_{p2} = m_{c2} z_2$
Diámetro de cabeza	$D_{e1} = D_1 + 2m$	$D_{e2} = D_2 + 2m$
Diámetro de base	$D_{b1} = D - 2\,\frac{7}{6}\,m$	$D_{b2} = D - 2\,\frac{7}{6}\,m$
Paso hélice	$P_{e1} = \frac{\pi D_1}{\operatorname{tg} \delta_1}$	$P_{e2} = \frac{\pi D_2}{\operatorname{tg} \delta_2}$
Paso axial	$P_{a1} = \frac{\pi D_1}{z_1 \operatorname{tg} \delta_1}$	$P_{e2} = \frac{\pi D_2}{z_2 \operatorname{tg} \delta_2}$

fórmula bastante cómoda para calcular la inclinación de los dientes de un par de ruedas helicoidales de ejes ortogonales, con una relación de transmisión dada.

Por ejemplo, si se desea calcular los elementos constructivos de un par de engranajes helicoidales de ejes ortogonales, con $\mathbf{m} = 3$, y una relación de transmisión 1:2, tenemos:

$$\tau = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta_1} \quad \operatorname{tg} \delta_1 = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{0{,}5} = 2\,; \quad \delta_1 = 63^{\circ}30'\,; \quad \delta_2 = 26^{\circ}30'$$

El paso normal es $\mathbf{P}_n = \pi \mathbf{m}_m = 3{,}14 \cdot 3 = 9{,}42$ m.
El espesor normal del diente resulta:

$$\mathbf{s}_n = \frac{\pi \mathbf{m}_n}{2} - 0{,}025\,\mathbf{m}_n = \frac{9{,}42}{2} - 0{,}025 \cdot 3 = 4{,}635\,.$$

El hueco normal es:

$$\mathbf{V}_n = \mathbf{P}_n - \mathbf{s}_n = 9{,}42 - 4{,}635 = 4{,}785\,.$$

La altura de la cara es igual al $\mathbf{m}_n = 3$ mm.
El flanco es igual a $7/6\ \mathbf{m}_n = 3{,}5$ mm.

El módulo circunferencial resulta para el piñón:

$$\mathbf{m}_c = \frac{\mathbf{m}_n}{\cos \delta_1} = \frac{3}{0{,}446} \cong 6{,}75 \text{ mm}\,;$$

para la rueda:

$$\mathbf{m}_c = \frac{\mathbf{m}_n}{\cos \delta_c} = \frac{3}{0{,}895} \cong 3{,}25 \text{ mm}\,.$$

A partir de estos elementos se deducen, sirviéndose de la tabla anterior, los restantes datos que se necesiten.

43. Mecanismo de tornillo sin fin-rueda helicoidal

Este par, como indicamos en el n.° **41,** se emplea cuando los ejes motor y conducido se cruzan ortogonalmente y la relación de transmisión tiene un valor muy pequeño. **El tornillo es siempre el elemento conductor y la rueda el conducido.** El mecanismo **no es reversible.**

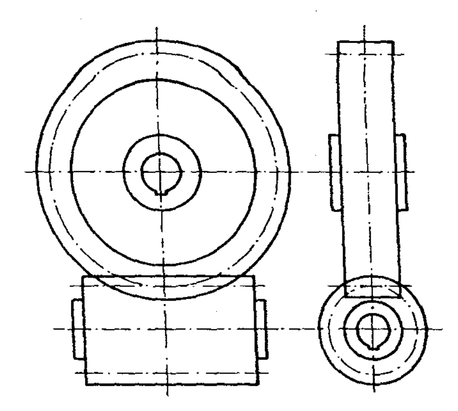


Fig. IV, 90. *Esquema del par tornillo sin fin-rueda helicoidal sin garganta.*

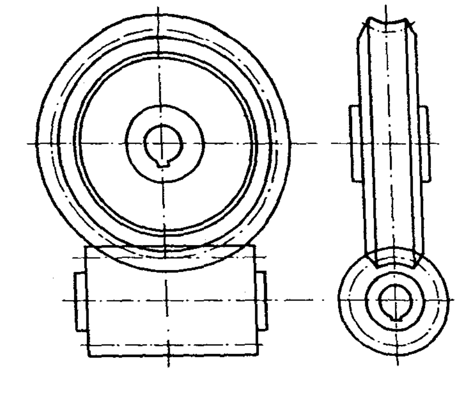


Fig. IV, 91. *Esquema del par tornillo sin fin-rueda helicoidal de una garganta.*

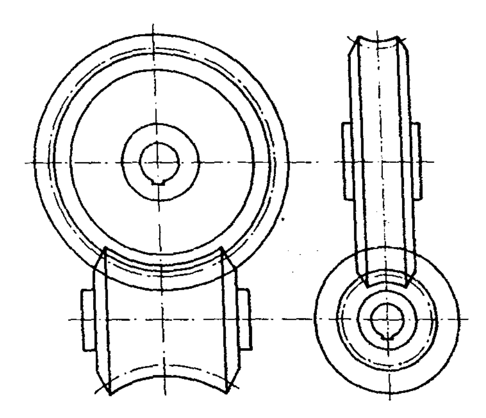


Fig. IV, 92. *Esquema del par tornillo sin fin-rueda helicoidal de garganta doble.*

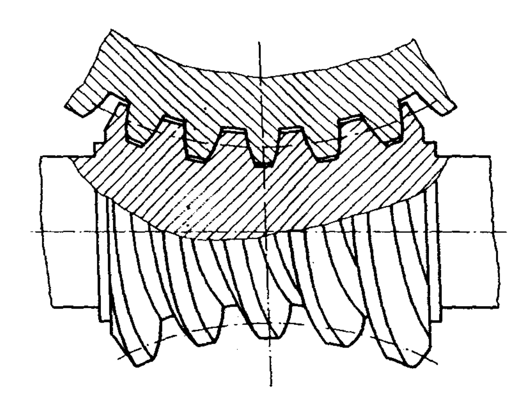


Fig. IV, 93. *Aquí se ve cómo tiene lugar el engranaje entre el tornillo sin fin y la rueda helicoidal en el par de garganta doble.*

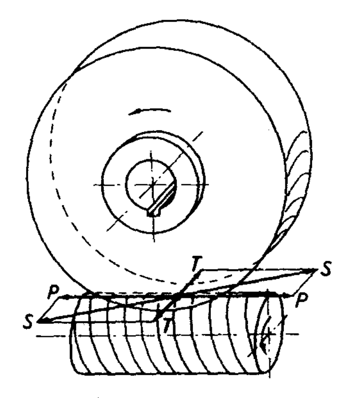


Fig. IV, 94. *Componentes tangencial y axial de la fuerza transmitida.*

El par tornillo sin fin-rueda helicoidal puede ser *sin garganta* (fig. IV, 90) en la que el contacto queda limitado a una zona muy estrecha (tipo muy poco empleado por los graves inconvenientes que presenta); o *con garganta simple* (rueda globoide) (fig. IV, 91) (tipo más empleado) en el cual la periferia de la rueda es cóncava, de modo que rodea parte del tornillo, estableciendo una superficie de contacto más amplia. El mecanismo puede ser también de doble garganta (figura IV, 92 y 93), pero su construcción es dificilísima, por lo que raras veces se utiliza.

La relación de transmisión de este mecanismo es igual a **i**/**z**, donde **i** es el número de filetes del tornillo y **z** el de dientes de la rueda.

Para que el funcionamiento de este par sea posible, debe haber igualdad entre el ángulo formado por el filete del tornillo (respecto al plano perpendicular a su eje) y el formado por los dientes de la rueda respecto al eje de la misma. Dicho ángulo se indica con δ.

Con el mecanismo en funcionamiento, aparece un empuje **S** que resulta perpendicular a la longitud del diente helicoidal de la rueda; dicho empuje se puede considerar concentrado en el punto medio del contacto y descomponerse en dos componentes, una tangencial **P** sobre la rueda, que resulta igual y contraria a la componente sobre el tornillo; la otra, axial, **T** sobre la rueda, igual y contraria a la componente tangencial **T** sobre el tornillo (fig. IV, 94).

Del examen de la figura resulta:

$$\mathbf{T} = \mathbf{P}\ \mathbf{tg}\,\delta$$

con la que, conociendo **T** y δ se puede calcular **P**.

La componente tangencial **T** se calcula por la fórmula corriente del momento de torsión o en función de la velocidad periférica **V**, partiendo de la potencia en caballos a transmitir:

$$\mathbf{M}_r = \mathbf{TR}_1 \cong 716\,000\,\frac{\mathbf{N}}{\mathbf{n}_1} \quad \text{o bien} \quad \mathbf{T} = \frac{75\,\mathbf{N}}{\mathbf{V}}.$$

Finalmente, dado el ángulo de ataque α (fig. IV, 95), se tiene un empuje radial $\mathbf{P}_r$, calculable mediante la relación:

$$\mathbf{P}_r = \mathbf{P}\,\mathbf{tg}\,\alpha$$

Sobre el cálculo de las dimensiones de los elementos del par, es de observar que el tornillo está solicitado a flexión y a torsión; su velocidad, sin embargo, es siempre relativamente elevada; por lo que el momento flector ideal se puede calcular por la fórmula aproximada (véase n.° **31**):

$$\mathbf{M}_{if} = \mathbf{M}_f + 0{,}2\,\mathbf{M}_t$$

El momento flector, por su parte, es el resultante de los tres momentos flectores siguientes:

$\mathbf{M}_1 = \mathbf{PR}_1$, situado en el plano del dibujo;

$\mathbf{M}_2 = \mathbf{P}_r\,\frac{l}{4}$, situado en el mismo plano, calculado considerando el tornillo como una viga cargada en su punto medio por el empuje radial $\mathbf{P}_r$ siendo l la distancia entre apoyos; se sumará, por tanto, directamente con $\mathbf{M}_1$;

$\mathbf{M}_3 = \mathbf{T}\,\frac{l}{4}$, situado en el plano perpendicular al del dibujo, se calcula considerando el tornillo como en el caso de $\mathbf{M}_2$, pero solicitado ahora por la componente **T**. En consecuencia $\mathbf{M}_3$ forma ángulo recto con $\mathbf{M}_1 + \mathbf{M}_2$ y se compone mediante el teorema de Pitágoras.

El momento flector a emplear en el cálculo del momento flector ideal será, pues:

$$\mathbf{M}_f = \sqrt{(\mathbf{M}_1 + \mathbf{M}_2)^2 + \mathbf{M}_3^2}\,.$$

El cálculo del dentado, por otra parte, se lleva a cabo fijando la potencia recibida en el eje de la rueda y calculando el módulo circunferencial con la fórmula:

$$\mathbf{m}_c = \sqrt[3]{\frac{\mathbf{M}_r}{\mathbf{K}_v \mathbf{z} \cos^2\delta}}$$

o bien, el módulo normal con la otra fórmula:

$$\mathbf{m}_n = \sqrt[3]{\frac{1000\,\mathbf{N}}{\mathbf{n}_1 \mathbf{i}^2}}\,\mathbf{sen}\,2\delta\,.$$

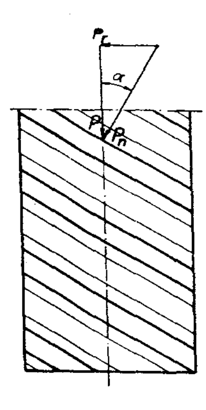


Fig. IV, 95. *Empuje axial y normal en una rueda helicoidal.*

No hay que olvidar que, como dijimos anteriormente, existe un empuje axial, que se habrá de tener en cuenta al elegir el tipo de cojinete que se empleará en los soportes.

Por ejemplo, se desea dimensionar un par rueda-tornillo sin fin, con los datos siguientes:

Potencia en el árbol motor: $\mathbf{N} = 4$ CV; $\mathbf{n} = 900$ r.p.m.

Número de entradas: $\mathbf{i} = 1$.

Inclinación del tornillo $\delta = 6°\,30'$.

Relación de transmisión: $\tau = 1 : 30$.

Longitud axial de la rueda: $l = 10\ m_c$.

Suponiendo un rendimiento $\eta = 0{,}7$ se obtiene:

En el eje de la rueda: $\mathbf{N} = 4 \cdot 0{,}7 = 2{,}8$ CV.

Revoluciones de la rueda: $\frac{900}{30}$ r.p.m.

$$\mathbf{M}_v = 716000 \cdot \frac{2{,}8}{30} = 66\,700 \text{ kg/mm}\,.$$

Suponiendo $\mathbf{K}_v = 6$ kg/mm², calculamos el módulo del dentado:

$$\mathbf{m}_c = \sqrt[3]{\frac{\mathbf{M}_v}{\mathbf{K}_v \mathbf{z} \cos^2\delta}} = \sqrt[3]{\frac{66700}{6 \cdot 30 \cdot 0{,}985}} = 6{,}5\,.$$

Basándonos en el módulo circunferencial, con las mismas fórmulas que para los engranajes cilíndricos, calculamos los restantes elementos:

Cara del diente = 6,5 mm.

Flanco del diente = 7,6 mm.

Calculamos después:

Diámetro de la rueda:

$$\mathbf{D} = \frac{\mathbf{zm}_c}{\cos 6°30'} = \frac{30 \cdot 6{,}5}{0{,}998} = 156{,}5 \text{ mm}\,;$$

Paso del tornillo:

$$\frac{\pi \mathbf{m}_c}{\cos 6°30'} = \frac{3{,}14 \cdot 6{,}5}{0{,}993} = 20{,}6 \text{ mm}\,;$$

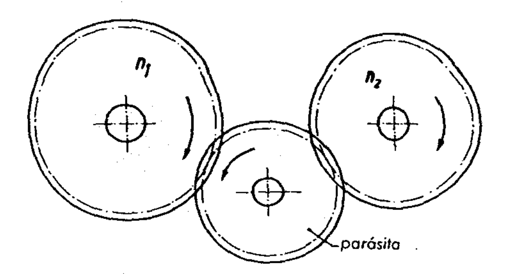


Fig. IV, 96. *Tren de engranajes con una rueda parásita.*

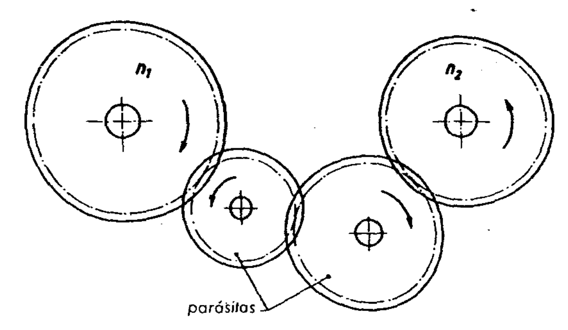


Fig. IV, 97. *Tren con dos ruedas parásitas.*

La longitud axial de la rueda:

$$l = 10\ m_c = 65 \text{ mm};$$

Diámetro del tornillo:

primitivo $\dfrac{m_c}{\text{tg } 6^\circ 30'} = \dfrac{6{,}5}{0{,}113} = 57{,}6$ mm;

exterior $57{,}6 + 2 \cdot 6{,}5 = 70{,}6$ mm;

interior $57{,}6 - 2 \cdot 7{,}6 = 42{,}4$ mm.

44. Generalidades sobre trenes de engranajes

Fijado el módulo y la relación de transmisión, puede ocurrir que, al calcular los radios de las dos primitivas, no se hallen valores para ellos *tales que su suma sea igual a la distancia entre los ejes de las ruedas;* y es fácil que las ruedas calculadas no puedan engranar entre sí.

Puede también darse el caso de que *la rueda conducida deba tener el mismo sentido de rotación que la conductora,* en lugar de sentido contrario, como ocurre cuando las dos ruedas engranan directamente.

Puede finalmente, ocurrir que *con sólo dos ruedas no se pueda conseguir una relación de transmisión dada.*

Por ejemplo, si se debiera realizar la relación de transmisión 1/22 siendo, por ejemplo, inconveniente el empleo de engranajes con menos de 15 dientes y con más de 250, no podría resolverse el problema con sólo dos ruedas, ya que una rueda de 15 dientes debería engranar con una de 330, contra lo establecido.

En los dos primeros casos indicados se recurre al uso de una o más **ruedas parásitas** (fig. IV, 96 y 97).

La rueda parásita ha de tener el mismo módulo que las dos principales, pero *puede tener cualquier número de dientes, porque no influye en la relación de transmisión,* funcionando toda rueda parásita, por así decirlo, como conductora y conducida al mismo tiempo.

En cambio, cuando con sólo dos ruedas no se pueda conseguir la relación de transmisión deseada, se recurre a los trenes de engranajes, uno de cuyos tipos generales es el de la figura IV, 98.

Si **1** es la rueda motriz y **8** la rueda conducida, las restantes ruedas con numeración impar son conductoras, y las indicadas con números pares son conducidas. Siendo n_1, n_2, n_3, etc., el número de revoluciones de las diversas ruedas y aplicando la fórmula corriente de la relación de transmisión para pares de ruedas simples, tenemos:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{z_1}{z_2} \qquad \frac{n_4}{n_3} = \frac{z_3}{z_4} \qquad \frac{n_6}{n_5} = \frac{z_5}{z_6} \qquad \frac{n_8}{n_7} = \frac{z_7}{z_8}$$

y multiplicando miembro a miembro todas estas proporciones, resulta

$$\frac{n_2 \cdot n_4 \cdot n_6 \cdot n_8}{n_1 \cdot n_3 \cdot n_5 \cdot n_7} = \frac{z_1 \cdot z_3 \cdot z_5 \cdot z_7}{z_2 \cdot z_4 \cdot z_6 \cdot z_8}.$$

Debe tenerse en cuenta que, estando cada rueda par unida rígidamente con la impar de índice siguiente (la 2 con la 3; la 4 con la 5, etc.) las velocidades de estas ruedas serán las mismas, por lo cual se tiene: $n_2 = n_3$; $n_4 = n_5$; $n_6 = n_7$; etc. La relación anterior se simplifica, pues, reduciéndose a:

$$\frac{n_8}{n_1} = \frac{z_1 \cdot z_3 \cdot z_5 \cdot z_7}{z_2 \cdot z_4 \cdot z_6 \cdot z_8}$$

es decir: **la relación de transmisión de un tren de engranajes compuesto de un número cualquiera de ruedas conductoras y conducidas, se obtiene dividiendo el producto de los números de dientes de las conductoras por el de los números de dientes de las conducidas.** Esta regla es válida para trenes de cualquier numero de ejes.

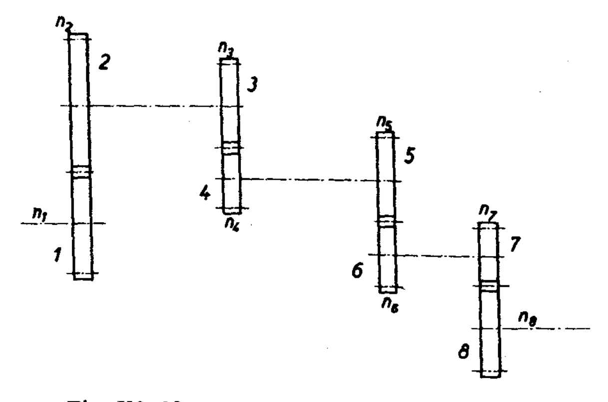


Fig. IV, 98. *Tren de engranajes complicado.*

Si esta relación es mayor que la unidad, se dice que el tren es **multiplicador;** si es menor que uno, se denomina **reductor.**

Por ejemplo, si las ruedas constituyentes de la transmisión representada en la figura IV, 98 tuvieran las características siguientes:

$$\mathbf{z}_1 = 40;\ \mathbf{z}_2 = 90;\ \mathbf{z}_3 = 60;\ \mathbf{z}_4 = 25;$$
$$\mathbf{z}_5 = 60;\ \mathbf{z}_7 = 30;\ \mathbf{z}_8 = 50$$

y se hubiese de calcular $\mathbf{z}_6$, de manera que la rueda 8 efectúe 1200 r.p.m., se procedería del modo siguiente:

Siendo

$$\frac{\mathbf{n}_8}{\mathbf{n}_1} = \frac{\mathbf{z}_1 \cdot \mathbf{z}_3 \cdot \mathbf{z}_5 \cdot \mathbf{z}_7}{\mathbf{z}_2 \cdot \mathbf{z}_4 \cdot \mathbf{z}_6 \cdot \mathbf{z}_8},$$

Despejamos

$$\mathbf{z}_6 = \frac{\mathbf{n}_1}{\mathbf{n}_8} \frac{\mathbf{z}_1\mathbf{z}_3\mathbf{z}_5\mathbf{z}_7}{\mathbf{z}_2\mathbf{z}_4\mathbf{z}_8} = \frac{1000 \cdot 40 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 30}{1200 \cdot 90 \cdot 25 \cdot 50} = 32\,.$$

Por otra parte, como que

$$\tau = \frac{1200}{1000} = 1{,}2 > 1\,,$$

el tren es multiplicador.

45. Trenes epicicloidales

Reciben este nombre **los trenes en los que uno o varios de sus ejes adquieren un movimiento de giro alrededor de uno o varios ejes fijos.** En las figuras IV, 99 y 100, indicamos algunos tipos de trenes epicicloidales.

Las ruedas cuyos ejes son fijos, coaxiales entre sí, pero independientes unas de otras, se llaman **planetarios;** las ruedas con eje móvil se denominan **satélites;** la pieza que sirve para mantener los ejes móviles a distancia invariable de los ejes fijos recibe el nombre de **portatrén** (o *brazo*, o *caja*). Siendo $\mathbf{n}_1$ y $\mathbf{n}_4$ las velocidades respectivas de los planetarios y $\mathbf{n}_2 = \mathbf{n}_3$

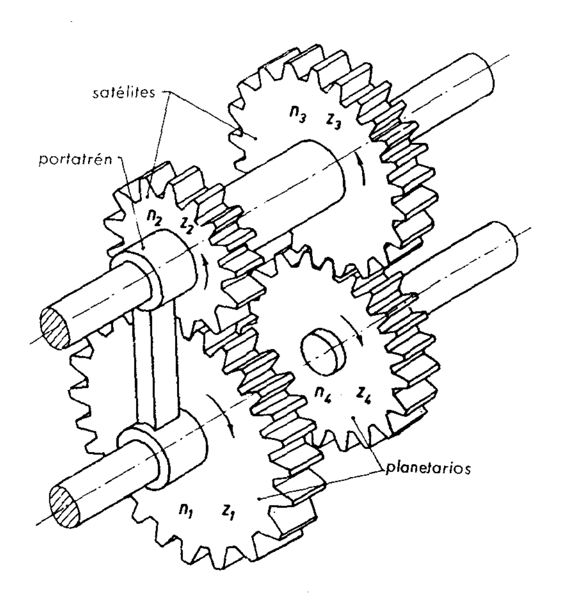


Fig. IV, 99. *Tren helicoidal.*

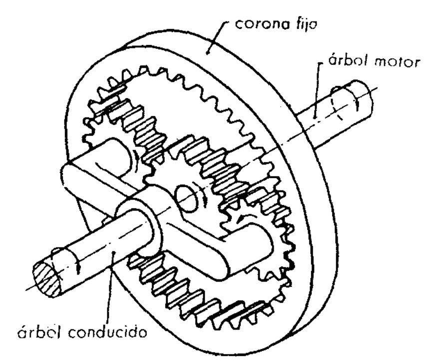


Fig. IV, 100. *Tren epicicloidal.*

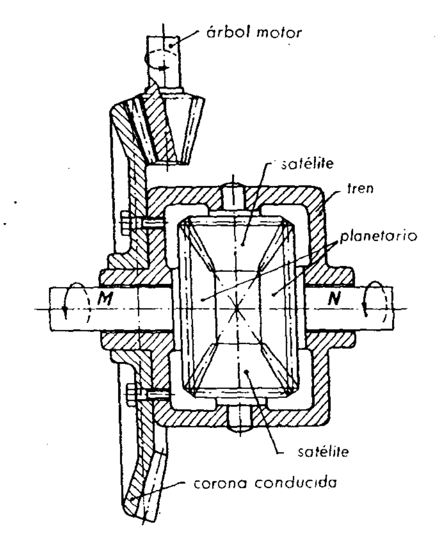


Fig. IV, 101. *Diferencial.*

las velocidades de los satélites, con el brazo fijo, el sistema se comporta como un tren ordinario de cuatro ruedas, de donde

$$\tau = \frac{\mathbf{n}_4}{\mathbf{n}_1} = \frac{\mathbf{z}_1\mathbf{z}_3}{\mathbf{z}_2\mathbf{z}_4}.$$

En cambio, cuando el brazo gira con velocidad **n** en el mismo sentido que las ruedas 1 y 4, el número de revoluciones de la primera rueda (conductora) respecto al brazo es $\mathbf{n}_1 - \mathbf{n}$; el número de revoluciones de la cuarta rueda (conducida) respecto el brazo es $\mathbf{n}_4 - \mathbf{n}$; para que se tenga la misma relación de transmisión, que con el brazo fijo, debe ser:

$$\frac{\mathbf{n}_4 - \mathbf{n}}{\mathbf{n}_1 - \mathbf{n}} = \pm\,\tau \text{ (fórmula de Willis)}$$

en la que el signo adoptado será positivo cuando en el tren, considerado como un tren ordinario, la primera y última ruedas giren en el mismo sentido; y negativo en el caso contrario.

En la figura IV, 101 está representado el tren epicicloidal llamado **diferencial,** que se aplica cuando se debe transmitir el movimiento a dos secciones **M**

y N de un árbol, *que puedan girar con distinto número de revoluciones*, como ocurre, por ejemplo, en las ruedas motrices posteriores de un automóvil.

En el caso concreto de la figura IV, 101 el movimiento se transmite directamente a la sección M del árbol conducido, a la que está unida rígidamente la caja del diferencial. La otra sección N del árbol conducido está unida a la primera a través de dos piñones planetarios cónicos y dos satélites iguales.

Debido a la igualdad del número de dientes de las ruedas conductora y conducida del tren, su relación de transmisión, considerado como tren ordinario, es igual a la unidad. La fórmula de Willis nos da, en consecuencia, teniendo en cuenta los sentidos de rotación:

$$\frac{n_2 - n}{n_1 - n} = -1 .$$

Cuando **M** y **N** han de efectuar el mismo número de revoluciones por minuto, los planetarios y satélites están fijos uno respecto a otro; es decir, giran solidariamente con la corona y la caja, a la velocidad conferida a la corona por el árbol motor. En cambio, si el semieje **N** ha de girar con velocidad angular ω_2 mayor que la de la caja, el otro semieje **M** girará con una velocidad ω_1 menor que ω_2, relacionada con ω y ω_2 por la igualdad:

$$\omega = 1/2\,(\omega_1 + \omega_2)$$

La diferencia entre ω_1 y ω_2 produce el giro de los satélites, que permiten, de esta forma, la diferente velocidad de los semiejes.

46. Transmisiones por correa y por cadena

Cuando los árboles entre los que se deba efectuar la transmisión del movimiento están demasiado separados para permitir el empleo de engranajes, o cuando, aunque estén próximos, no se requiera una constante exactitud de la relación de transmisión, y se desee por tanto eliminar los engranajes, órganos siempre delicados y de rendimiento no muy elevado, se recurre a la transmisión mediante correas, cables o cadenas.

Transmisión por correa. Está representada en la figura IV, 102. Sabemos que los dos ramales de la correa trabajan con *tensiones distintas;* uno **menos tenso** (tensión **t**); y el otro **más tenso** (tensión **T**).

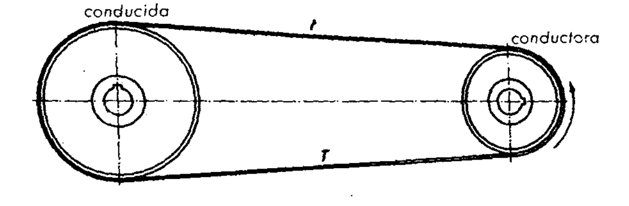


Fig. IV, 102. *Transmisión por correa.*

Podemos decir con suficiente aproximación que la diferencia entre ambas tensiones es igual al esfuerzo periférico **P** a transmitir.

$$\mathbf{T} - \mathbf{t} = \mathbf{P} \quad (1)$$

La presión **Q** aplicada a los soportes de la polea, según los resultados de la experiencia, varía entre **3P** y **6P**, dependiendo de la posición de la correa, del arco de la polea menor abrazado por la misma, de la velocidad periférica, del espesor y estado de la correa, etc. En general se puede tomar **Q** = **4P**.

Suponiendo, en primera aproximación, que los dos ramales de la correa son paralelos entre sí, resulta evidentemente:

$$\mathbf{Q} = 4\mathbf{P} = \mathbf{T} + \mathbf{t}$$

Teniendo en cuenta la igualdad anterior (1) se deduce:

$$\mathbf{t} = 1{,}5\,\mathbf{P} \qquad \mathbf{T} = 2{,}5\,\mathbf{P}$$

Por lo tanto, la tensión máxima ejercida sobre la correa es **T** = **2,5 P**; con lo que se puede calcular la sección de ésta, utilizando la fórmula corriente de resistencia a la tracción:

$$\mathbf{K} = \frac{2{,}5\,\mathbf{P}}{\mathbf{b} \cdot \mathbf{s}}$$

siendo **b** la anchura y **s** el espesor de la correa. Esta fórmula se emplea para calcular **s**, una vez fijado el valor de **b**. La anchura de la correa se puede determinar mediante las fórmulas prácticas siguientes:

$\mathbf{b} = (14 \div 16)\ \sqrt{\mathbf{P}}$ para $\mathbf{b} < 360$ mm y $\mathbf{V} < 15$ m/seg

$$\mathbf{b} = \frac{\mathbf{P}}{1{,}5 - \frac{0{,}1}{\mathbf{R}} - 0{,}00035\,\mathbf{V}^2}$$

para correas sencillas y $\mathbf{V} > 15$ m/seg

$$\mathbf{b} = \frac{\mathbf{P}}{2{,}5 - \frac{0{,}5}{\mathbf{R}} - 0{,}00055\,\mathbf{V}^2}$$

para correas dobles y $\mathbf{V} > 15$ m/seg.

Las cargas de seguridad adoptadas son:

Para correa de cuero	**K** = (0,10-0,40) kg/mm²
Para correa de caucho	**K** = (0,15-0,25) kg/mm²
Para correa de algodón, pelo de camello, tela engomada, etcétera	**K** = 80 % de la carga de seguridad del cuero.

Si prescindimos del deslizamiento de la correa, ambas poleas (conductora y conducida) poseen la misma velocidad periférica; es decir

$$\pi \mathbf{d}_1 \mathbf{n}_1 = \pi \mathbf{d}_2 \mathbf{n}_2,$$

de donde se deduce la *relación de transmisión* τ:

$$\tau = \frac{\mathbf{n}_2}{\mathbf{n}_1} = \frac{\mathbf{d}_1}{\mathbf{d}_2} .$$

Por ejemplo, se desea transmitir mediante un par de poleas de diámetros $\mathbf{d}_1 = 250$ mm y $\mathbf{d}_2 = 500$ mm respectivamente, una potencia de 2 CV, siendo la velocidad de la polea motriz de 500 r.p.m. Para calcular la sección de la correa y la relación de la transmisión, se calcula, en primer lugar, la velocidad periférica de la polea motriz:

$$\mathbf{V} = \frac{\pi \mathbf{dn}}{60} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}250 \cdot 500}{60} = 6{,}5 \text{ m/sec}.$$

Teniendo en cuenta que 2 CV equivalen a 150 kgm/seg resulta (con las notaciones adoptadas hasta ahora)

$$\mathbf{P} = \frac{150}{6{,}5} = 23 \text{ kg}.$$

La correa se calculará para soportar un esfuerzo de tracción

$$\mathbf{T} = 2{,}5\,\mathbf{P} = 2{,}5 \cdot 23 = 57{,}5 \text{ kg}.$$

Suponiendo $\mathbf{K} = 0{,}3$ (para correas de cuero) y calculada la anchura de la correa por la fórmula práctica:

$$\mathbf{b} = 14\sqrt{\mathbf{P}} = 14\sqrt{23} = 67 \text{ mm},$$

el espesor resulta ser:

$$\mathbf{s} = \frac{2{,}5\,\mathbf{P}}{\mathbf{Kb}} = \frac{57{,}5}{0{,}3 \cdot 67} \cong 3 \text{ mm}.$$

En consecuencia, la relación de transmisión resulta:

$$\tau = \frac{\mathbf{d}_1 + \mathbf{s}}{\mathbf{d}_2 + \mathbf{s}} = \frac{250 + 3}{500 + 3} = \frac{1}{1{,}99}.$$

La tensión de la correa ha de ser suficiente para asegurar una adherencia suficiente para mantener la continuidad de la transmisión.

La relación de transmisión τ antes indicada es teórica y no es exacta ni siquiera en el caso en que realmente no exista deslizamiento, porque en ella se prescinde del espesor **s** de la correa. Para cálculos más exactos, es preciso tener en cuenta este espesor, por lo que se emplea la fórmula:

$$\tau = \frac{\mathbf{n}_2}{\mathbf{n}_1} = \frac{\mathbf{d}_1 + \mathbf{s}}{\mathbf{d}_2 + \mathbf{s}}.$$

Finalmente se ha de tener en cuenta que, debido al inevitable deslizamiento de la correa, en general existe una cierta disminución del número de revoluciones de la rueda conducida, que puede llegar fácilmente al 2 %.

Cuando mediante una sola transmisión por correa se desea realizar una serie de relaciones de transmisión, se puede recurrir a las poleas escalonadas o conos de poleas (fig. IV, 103). En este caso se tienen tantas relaciones de transmisión como escalones tenga el cono; es decir, en el caso de un cono de poleas de 3 escalones (fig. IV, 103), 3 velocidades distintas.

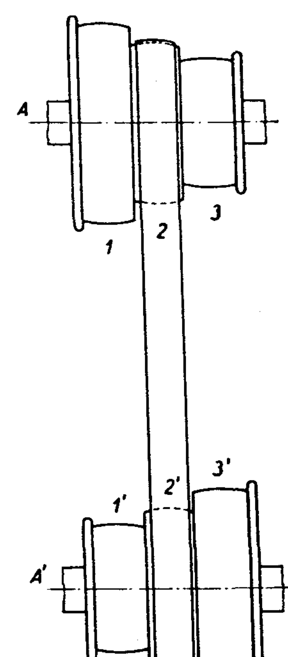


Fig. IV, 103. *Transmisión por correa con conos de poleas, para tres velocidades.*

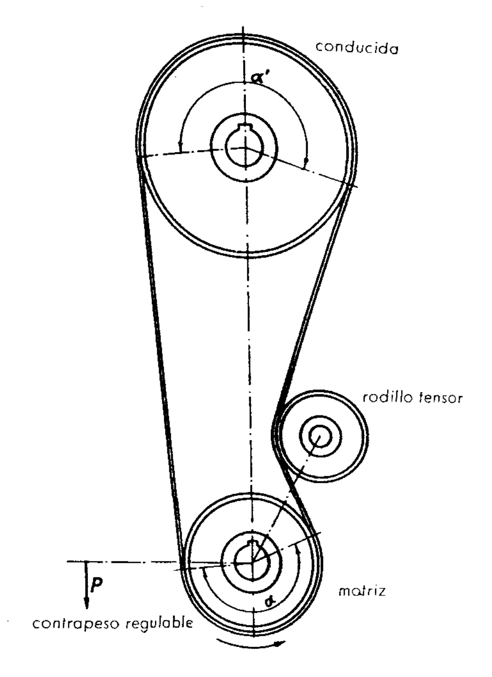


Fig. IV, 104. *Para aumentar la adherencia se puede usar un rodillo tensor que aumenta el arco de contacto.*

No vamos a extendernos más sobre esta materia, puesto que las transmisiones por conos de poleas, al igual que las transmisiones por correa con poleas locas, contramarchas, correas desplazables, etc., están desapareciendo incluso de los talleres más modestos.

Por el contrario se emplean muchísimo las transmisiones directas por correa entre el motor y la máquina, siendo regla general para las máquinas movidas por motor propio.

Para aumentar el arco abrazado por la correa, especialmente en la polea de diámetro menor, es conveniente el empleo de **rodillos tensores** (fig. IV, 104). Con ello la presión ejercida sobre los cojinetes es sólo de **1,5 P** y la tensión máxima de la correa queda reducida a **1,35 P**. La transmisión podrá pues realizarse con correas más delgadas y con cojinetes menos robustos. *El rodillo tensor ha de aplicarse al ramal menos tenso de la correa.*

Con el empleo del rodillo tensor puede disminuirse considerablemente la distancia entre los ejes de las poleas y tener un campo de aplicación muy amplio, en lo que respecta a la relación de transmisión; la tensión de la correa se puede regular también mediante dispositivos de contrapeso o de resortes.

47. Transmisiones por correas trapeciales

Otro sistema de transmisión es el que utiliza **correas trapeciales** fabricadas con caucho y tela, *en forma cerrada sin uniones.*

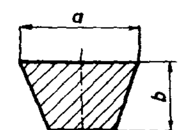


Fig. IV, 105. *Sección de correa trapecial.*

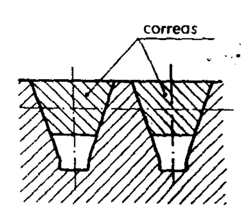


Fig. IV, 107. *Las correas trapeciales han de trabajar únicamente con los flancos.*

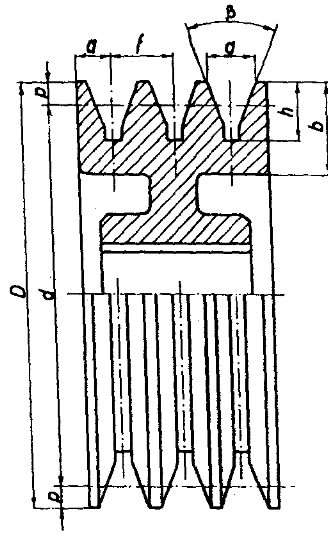


Fig. IV, 106. *Polea para transmisión con tres correas trapeciales.*

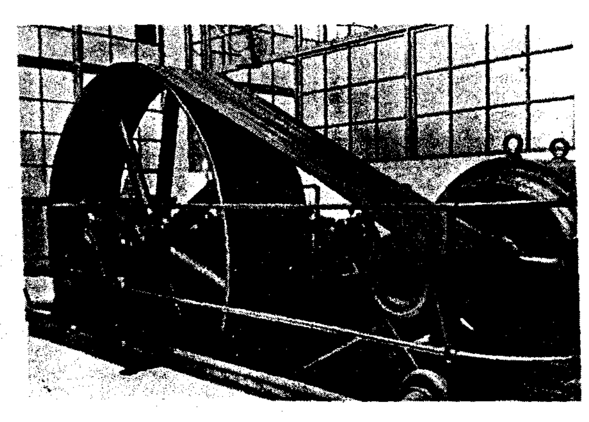


Fig. IV, 108. *Transmisión de correas trapeciales de tipo mixto, con polea motriz acanalada y polea conducida de superficie lisa.*

Existen también correas trapeciales *abiertas*, de utilidad solamente cuando existen grandes dificultades e imposibilidad de montar los tipos cerrados normales.

El tipo cerrado o sin fin está unificado (**UNI 488**); no obstante, debido a que las necesidades de la industria precisan a veces de un surtido de medidas y longitudes no previstas en la unificación, se hallan en el mercado medidas no incluidas en la tabla UNI: véase, por ejemplo, el catálogo Pirelli 3-N (10-54).

La sección transversal de las correas trapeciales es la indicada en la figura IV, 105, y se utilizan con poleas acanaladas adecuadas. Estas últimas también están unificadas (UNI 490) (fig. IV, 106). La forma y las medidas de las gargantas se han determinado de modo que se evite el contacto de la correa con el fondo de la garganta; es decir, la correa ha de trabajar sólo sobre sus flancos (fig. IV, 107). Se encuentran todavía instalaciones en las que, cuando tiene lugar una considerable reducción de velocidad, la polea motriz, rápida y de pequeño diámetro, es de tipo acanalado, mientras que la conducida, próxima a la primera y de gran diámetro, es una polea corriente (fig. IV, 108). En este caso se utilizan preferentemente las correas trapeciales rebajadas, que trabajan regularmente con los flancos sobre la polea acanalada y con la base menor sobre la polea normal.

La «Pirelli» admite esta transmisión mixta de cara plana y de garganta cuando la distancia **I** entre ejes está relacionada con los diámetros de las poleas por la fórmula:

$$\frac{D - d}{I} \geqq 0{,}5 .$$

Puede demostrarse que la adherencia que puede conseguirse con correas trapeciales es, a igualdad de las restantes condiciones, *el triple* de la que se obtiene con correas planas. La relación de transmisión con correas trapeciales no debe ser inferior a 1/12.

En la parte II de este texto se han expuesto más detalles sobre las poleas acanaladas y las correas trapeciales.

48. Transmisiones por cadena

Prescindiendo de las transmisiones por cable (figura IV, 109), debido a que sus aplicaciones rara vez interesan al dibujante mecánico, daremos aquí un compendio suficientemente amplio sobre las *transmisiones por cadena*. Estas transmisiones han adquirido en la técnica moderna una importancia enorme y su empleo y aplicaciones aumentan continuamente.

Las transmisiones por cadena se dividen, como se explica más detalladamente en los cursos de mecánica aplicada, en tres clases:

a) *para transmitir potencia;*
b) *para transporte;*
c) *para elevación.*

La utilización que interesa más directamente al dibujante mecánico es la primera.

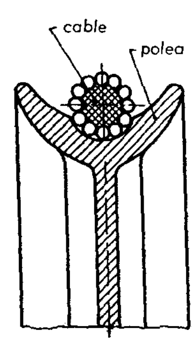


Fig. IV, 109. *Polea para transmisión por cable.*

Damos a continuación algunos detalles sobre el origen, desarrollo y perfeccionamiento de las cadenas empleadas para la transmisión de potencia.

La cadena, aparecida con el nombre de Galle, estaba constituida por una serie de pasadores unidos entre sí mediante plaquitas laterales, como se ve en la figura IV, 110. La transmisión de potencia se realizaba entre dos ruedas dentadas. Los pasadores de la cadena, distantes cada uno del siguiente una longitud constante (*paso*) formaban los eslabones de la cadena, y encajaban con los dientes de la rueda, que evidentemente debía tener el mismo paso y una forma apropiada.

Además de transmitir la potencia, la cadena puede servir, eligiendo adecuadamente el número de dientes de las ruedas, para reducir o aumentar la velocidad del árbol conducido, como ocurría en las transmisiones por correa o engranajes.

La relación de transmisión resulta igual a la que se tendría si ambas ruedas engranaran entre sí, esto es, designando con $\mathbf{z}_1$ y $\mathbf{z}_2$ el número de dientes de cada rueda:

$$\tau = \frac{\mathbf{n}_2}{\mathbf{n}_1} = \frac{\mathbf{z}_1}{\mathbf{z}_2}.$$

El sistema presenta numerosas ventajas, entre las cuales citaremos:

a) menor coste de las ruedas dentadas con respecto a las de módulo.

b) mayor rendimiento, comparando con la transmisión por engranajes, debido a la menor presión ejercida sobre los dientes;

c) posibilidad de disponer (dentro de ciertos límites) *los árboles a cualquier distancia;*

d) respecto a la transmisión por correa, que también tiene la propiedad *c*), *tiene la ventaja de asegurar la regularidad de la transmisión,* eliminando el deslizamiento.

Por ello, los esfuerzos de los constructores se han dirigido a la mejora de las condiciones de funcionamiento y a la posibilidad de aumentar la velocidad que, con la cadena de Galle, era muy baja.

El primer paso importante se consiguió haciendo una pieza única con las placas de la cadena y un casquillo solidario con ellas *(sistema Zobel)* (fig. IV, 111). Con este artificio se conseguía mayor duración de la cadena, gracias al aumento de la superficie de apoyo obtenida entre los pasadores de la articulación y su asiento.

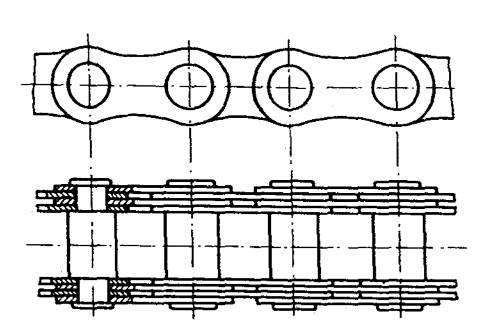


Fig. IV, 110. *Cadena Galle.*

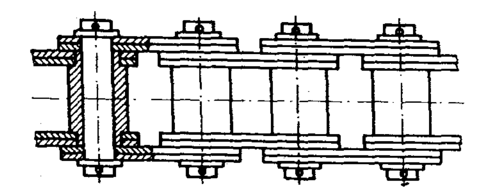


Fig. IV, 111. *Cadena sistema Zobel.*

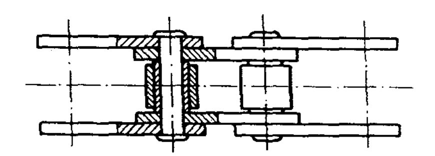


Fig. IV, 112. *Cadena de rodillos giratorios sistema Renold.*

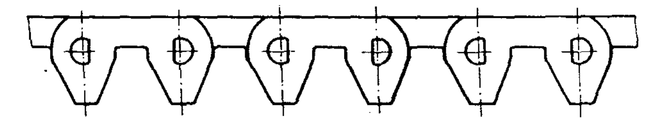


Fig. IV, 113. *Cadena silenciosa Renold-Morse.*

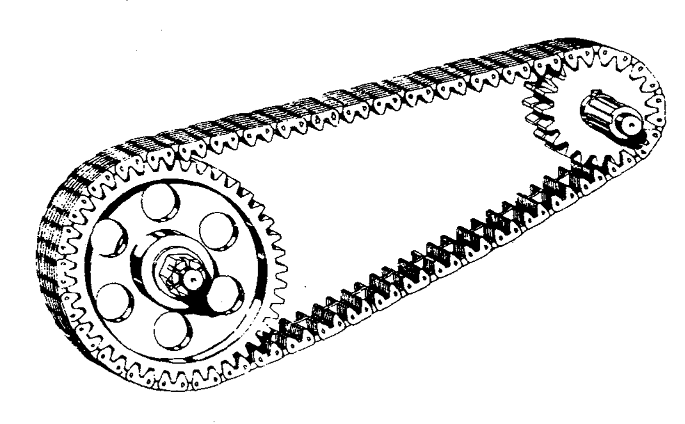


Fig. VI, 114. *Aplicación de la cadena Renold-Morse.*

Una posterior mejora se consiguió montando rodillos giratorios sobre los pasadores (*sistema Renold*) (fig. IV, 112), con lo que se consiguió una disminución notable del rozamiento entre la cadena y los dientes en el momento del enganche entre ambos. Con esta cadena se puede alcanzar e incluso superar la velocidad de 5-6 m/seg.

Otro tipo de cadena que ha tenido gran difusión es la cadena *Renold-Morse,* llamada también cadena silenciosa (fig. IV, 113). La figura IV, 114 explica el funcionamiento de esta cadena que permite alcanzar los 12 m/seg. Aunque la cadena silenciosa repre-

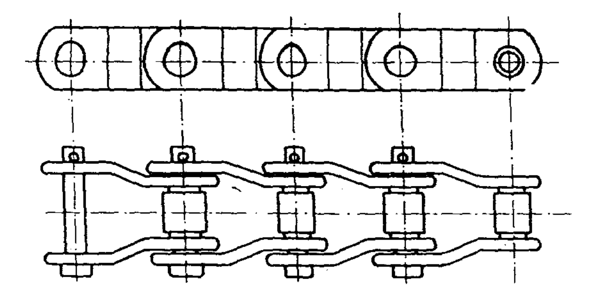


Fig. IV, 115. *Cadena desmontable.*

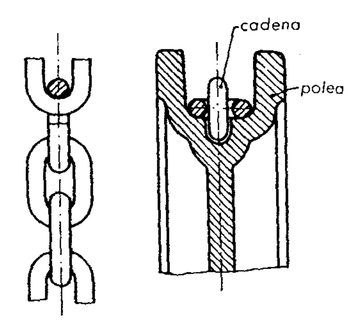


Fig. IV, 116. *Cadena de anillos calibrados y sección de la polea correspondiente.*

senta un perfeccionamiento sobre la cadena de rodillos giratorios, se emplea mucho menos.

Existen, finalmente, **cadenas desmontables,** formadas por eslabones de fundición maleable, enganchables unos con otros o adaptables mediante pasadores de acero (fig. IV, 115).

Para el transporte se emplean cadenas que no difieren, desde el punto de vista constructivo, de las estudiadas hasta ahora, salvo que a los elementos descritos se fijan otras piezas (aletas, enganches, pasadores especiales, etc.), estudiadas especialmente para la clase de transporte que se deba efectuar.

Para la elevación pueden utilizarse también cadenas de eslabones calibrados (fig. IV, 116), debiendo estar, en este caso, perfectamente calibrados y encajar bien en huecos adecuados de la polea.

En el capítulo referente al dibujo de cadenas se expusieron más detalles técnicos y de utilización.

49. Mecanismo de biela y manivela

Antes de tratar de este mecanismo conviene dar una rápida ojeada al **movimiento armónico.** Cuando un punto **P** se mueve con movimiento uniforme sobre una circunferencia (fig. IV, 117), su proyección **P'** sobre un diámetro **AB** de ésta se desplaza con un movimiento que posee las siguientes características:

1) *Es un movimiento alternativo entre dos extremos* **A** *y* **B** *que limitan su recorrido, igual al diámetro de la trayectoria de* **P**. *El movimiento es periódico, de igual período* $\mathbf{T} = \frac{2\pi\mathbf{n}}{60}$ que el movimiento circular de **P**.

2) *Su velocidad es variable teniendo su valor máximo cuando* **P** *pasa por* **O**, *y el mínimo en los extremos* **A** *y* **B** *del recorrido.*

3) *Su aceleración es también variable, siendo en todo instante proporcional a la elongación de* **P'** (es decir, a su distancia de **O**); *la aceleración es, por tanto, nula cuando* **P'** *se encuentra en* **O**, *y máxima en los extremos del recorrido.*

Un movimiento con estas características se denomina **movimiento armónico** y tiene muchas aplicaciones mecánicas.

El mecanismo de *biela y manivela* es el empleado con más frecuencia para la transformación del movimiento de rotación en rectilíneo alternativo y viceversa (fig. IV, 118). El botón **A** de la manivela **M** se mueve con movimiento circular uniforme con velocidad angular $\omega = \frac{2\pi\mathbf{n}}{60}$ y velocidad periférica $\mathbf{V} = \omega\mathbf{R}$.

El extremo de la biela **B** se desplaza a lo largo de la recta **PO**, en ambos sentidos alternativamente, recorriendo una carrera **s**. La proyección de **A** sobre **PO** se mueve, según lo dicho últimamente, con movimiento armónico; *si la longitud de la biela fuese infinita, su inclinación sería prácticamente nula en*

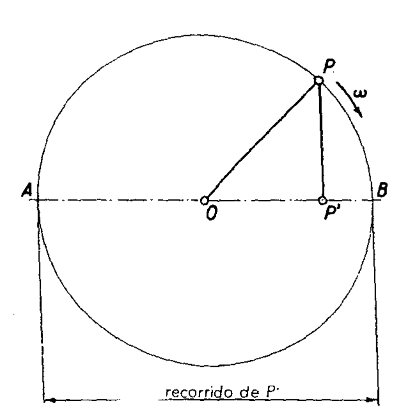


Fig. IV, 117. *Movimiento armónico. La proyección* **P'** *de* P *sobre* AB *se mueve con movimiento armónico, cuando* OP *gira con velocidad angular constante.*

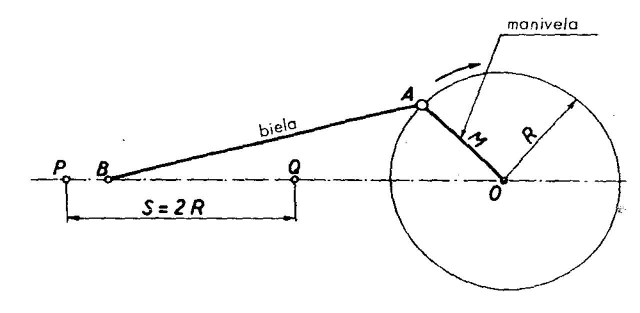


Fig. IV, 118. *Esquema del mecanismo biela-manivela.*

todo instante y en consecuencia el extremo **B** *de la biela se movería también con movimiento armónico.* En la práctica la biela tiene solamente 4 ó 5 veces la longitud de la manivela **OA**, *con lo que el movimiento de* **B** *puede considerarse como armónico sólo aproximadamente.*

El cálculo de las bielas es bastante complicado y exige un buen conocimiento de la dinámica, por lo que se sale completamente del campo del presente texto. La sección transversal de las bielas se determina generalmente de manera que su momento de inercia respecto el eje normal al plano en que se mueve sea mayor que el momento respecto al eje contenido en el plano del movimiento. En otras palabras, si la biela se mueve en el plano del dibujo, su sección será del tipo indicado en la figura, con momento de inercia mayor respecto al eje **x** – **x**, normal al plano del movimiento (fig. IV, 119).

La forma de la manivela puede ser como la de la figura IV, 120.

Cuando un mismo árbol debe accionar varias bielas, las manivelas están constituidas por los codos del árbol, que en este caso se denomina **árbol acodado** o cigüeñal (fig. IV, 121).

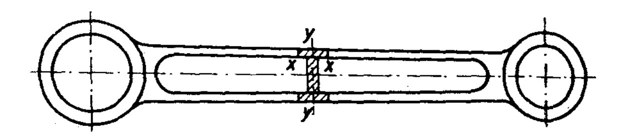
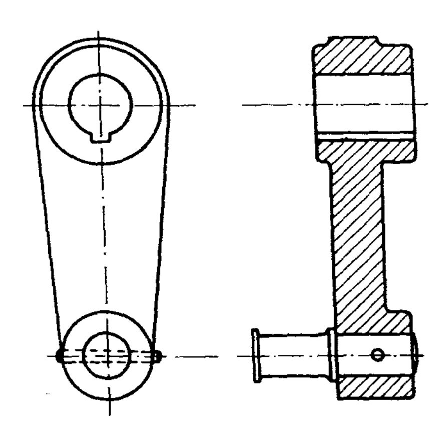


Fig. IV, 119. *Esquema de biela.*


Fig. IV, 120. *Esquema de manivela.*

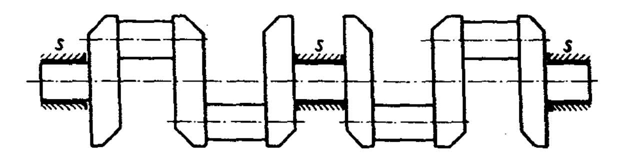


Fig. IV, 121. *Esquema de cigüeñal; con* s *se indican los soportes.*

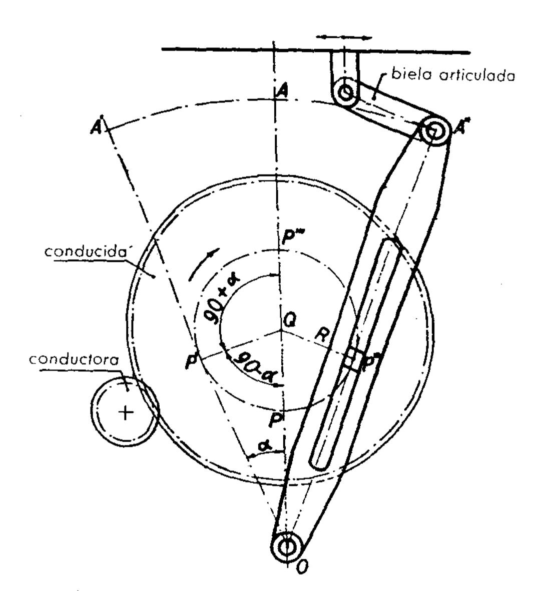


Fig. IV, 122. *Esquema de mecanismo de corredera (limadora).*

50. Mecanismo de corredera

Este mecanismo, análogo al de la biela y manivela, está representado en la figura IV, 122. El gorrón **P**, extremo de la manivela **QP**, se desplaza guiado por el canal de un brazo oscilatorio alrededor de un eje **O**. Dicho brazo adquiere un movimiento oscilatorio alternativo entre dos posiciones extremas **OA′** y **OA″**, obtenidas trazando por **O** las tangentes a la circunferencia trayectoria de **P.** El extremo del brazo describe un arco **A′A″** de radio **OA.**

Este mecanismo convierte, pues, el movimiento circular de la manivela en un movimiento alternativo de vaivén del extremo del brazo oscilante. Uniendo a A″ una biela (fig. IV, 122) acoplada a un gorrón articulado, el extremo de la biela puede desplazarse sobre una guía rectilínea.

Se comprende fácilmente que, *si la manivela gira con velocidad angular constante, el arco* **A′A″** *es descrito con* **dos velocidades medias distintas** $\mathbf{V}_{1m}$ a la ida y $\mathbf{V}_{2m}$ a la vuelta. En efecto, con las notaciones de la figura IV, 122, se observa que la longitud del arco **P′P‴P″** es $\mathbf{2R}\frac{\mathbf{90}+\alpha}{\mathbf{180}}$; el arco **P″PP′** en cambio, mide $\mathbf{2R}\frac{\mathbf{90}-\alpha}{\mathbf{180}}$. Dado el movimiento uniforme de **P**, los tiempos empleados son proporcionales a los arcos; por lo tanto entre las velocidades $\mathbf{V}_{1m}$ *y* $\mathbf{V}_{2m}$ existirá la relación $\frac{\mathbf{90}-\alpha}{\mathbf{90}+\alpha}$.

Para variar la longitud del arco **A′A″** debe variarse la longitud **R** = **PQ** de la manivela desplazando, por ejemplo, la corredera **P** con un mecanismo de tornillo.

Este mecanismo tiene varias aplicaciones, especialmente en las limadoras.

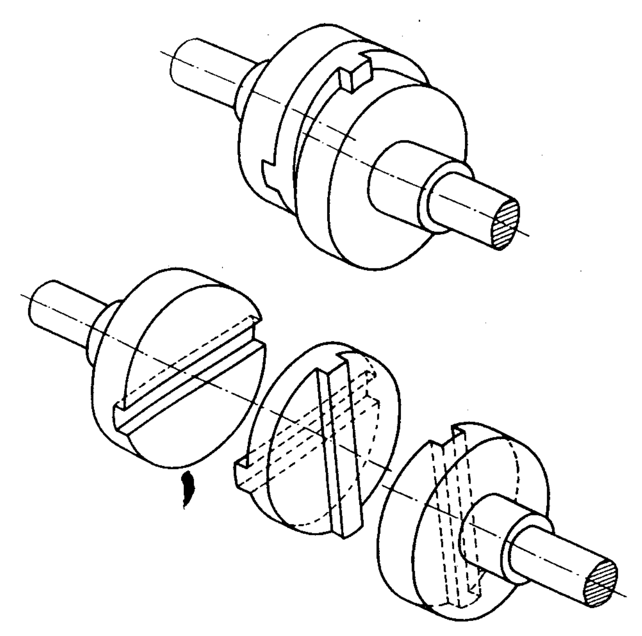


Fig. IV, 123. *Unión Oldham y sus partes.*

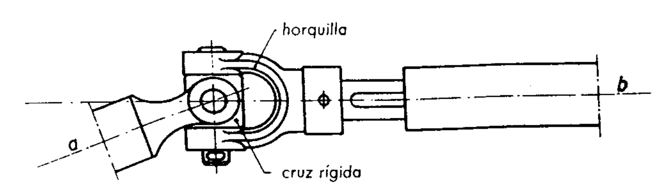


Fig. IV, 124. *Unión de Cardan.*

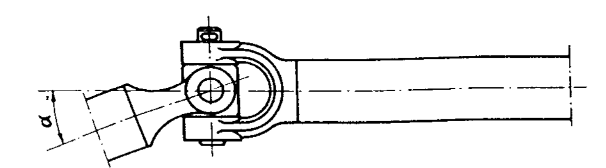


Fig. IV, 125. *Si el árbol motor y el conducido forman entre sí un ángulo α, el movimiento del árbol conducido no es uniforme, siendo en cambio uniforme el movimiento del árbol conductor.*

Fig. IV, 126. *Doble unión Cardan para transmisión uniforme.*

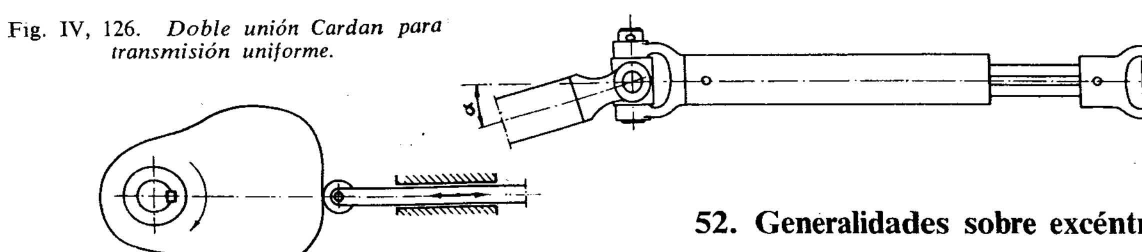


Fig. IV, 127. *Excéntrica de I clase (movimiento alternativo de la varilla).*

51. Uniones articuladas

De los sistemas articulados en general derivan las **uniones articuladas** entre dos árboles, entre las cuales la de mayor aplicación es la de **Cardan** *o de Hooke.*

Aunque más raramente, también la **junta de Oldham** encuentra aplicación en la transmisión del movimiento entre dos ejes paralelos y muy próximos entre sí.

Unión de Oldham. Está constituida por dos acoplamientos prismáticos (fig. IV, 123) entre dos discos acanalados diametralmente, solidarios cada uno con su eje, y por un disco interpuesto entre ellos provisto de dos resaltes ortogonales entre sí, que encajan con los canales de los discos. Durante la rotación, las piezas acopladas efectúan en cada giro dos desplazamientos de longitud doble de la distancia entre los árboles, con la consiguiente pérdida por rozamiento. El acoplamiento puede ser sencillo o en cola de milano.

Unión de Cardan. Este dispositivo de acoplamiento de dos árboles **a** y **b** cuyos extremos han de tener forma de horquilla, como indica la figura IV, 124, es, según el esquema adoptado, una cruz rígida, de brazos perpendiculares, unidos por sus extremos a las horquillas de los árboles permitiendo el giro de éstas.

El estudio cinemático de esta unión es bastante complicado y exige, además, conocimientos de trigonometría esférica y geometría analítica. Nos limitaremos aquí, por lo tanto, a enunciar el resultado que es el siguiente: *si el árbol motor forma un ángulo* α (figura IV, 125) *con la prolongación del árbol conducido, y gira con movimiento uniforme, el movimiento de rotación del árbol conducido no es uniforme;* existe, pues, una cierta *irregularidad periódica en la transmisión*, que es mínima cuando α es pequeño, pero que crece rápidamente al aumentar α. *La irregularidad es periódica, con período igual a media vuelta.*

Cuando no puede admitirse esta irregularidad, esto es, cuando se requiere una transmisión absolutamente uniforme, se recurre a la **doble unión de Cardan** (fig. IV, 126), *en la cual los ángulos formados por los árboles concurrentes con el árbol de unión han de ser* **iguales**. Si los árboles conductor y conducido son paralelos esta condición se cumple automáticamente.

52. Generalidades sobre excéntricas y levas

Una **excéntrica** *es un disco de perfil especial, animado de movimiento de rotación* (fig. IV, 127). *Un vástago, guiado por un manguito apropiado apoyado o presionado sobre la periferia de la placa, se desplaza a lo largo de su propio eje siguiendo la forma del contorno de la excéntrica.* La **ley del movimiento del vástago,** al girar la placa con **velocidad angular constante,** *es función de la* **forma del mencionado perfil del disco.**

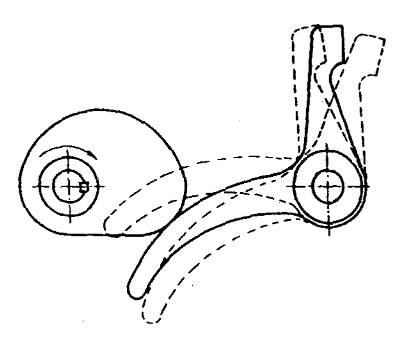


Fig. IV, 128. *Excéntrica de II clase (movimiento oscilatorio de una palanca).*

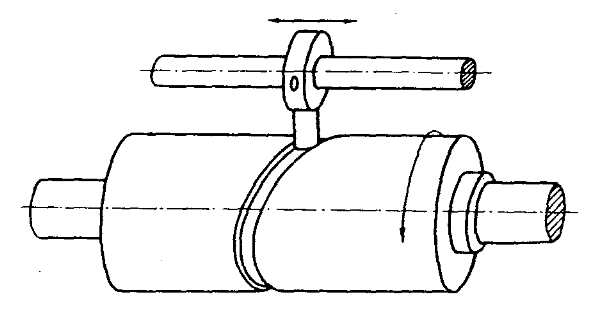


Fig. IV, 129. *Cilindro acanalado.*

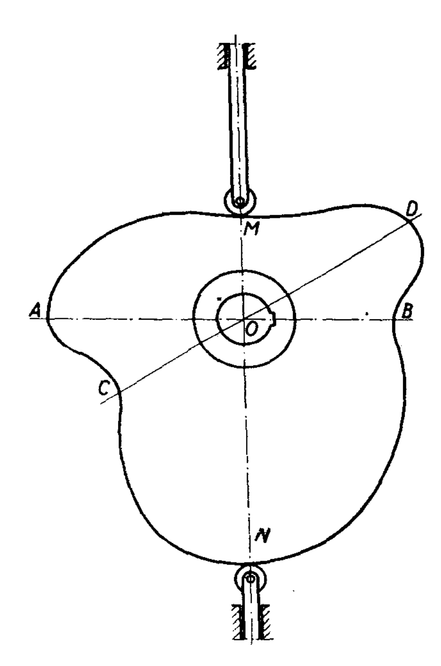


Fig. IV, 130. *Excéntrica de diámetro constante.*

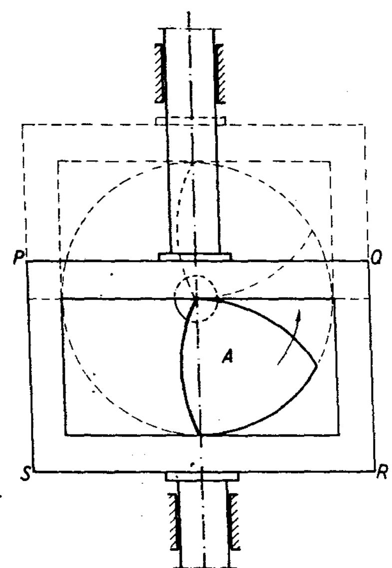


Fig. IV, 131. *Excéntrica de cuadro.*

Análoga es la **excéntrica de cuadro** (fig. IV, 131) que está formada por un sector **A** de anchura constante; al girar obliga al cuadro **PQRS** a desplazarse.

Las puntas se sustituyen a veces por ruedecillas a fin de disminuir el rozamiento.

Este mecanismo sirve, pues, para **convertir un movimiento circular en un movimiento rectilíneo** *y se denomina* **excéntrica de primera clase.**

Existe también la posibilidad de *hacer actuar una excéntrica sobre una palanca* (fig. IV, 128) *que en este caso adquirirá un movimiento* **oscilatorio (excéntrica de II clase).**

El **cilindro acanalado** es un mecanismo análogo, en el que el perfil de la excéntrica está sustituido por un surco (fig. IV, 129).

Existen, finalmente, **excéntricas de diámetro constante** (fig. IV, 130), en las que el vástago está guiado por dos puntas **M** y **N** que están apoyadas siempre sobre el perfil de la excéntrica. Cualquier diámetro (por ejemplo, el **CD**) tiene su longitud igual a la distancia **MN**, por lo que una vez trazada la mitad del perfil (por ejemplo, **AMDB**), la otra mitad **BNCA** se obtiene llevando sobre cada diámetro **CD** un segmento **OC** tal que se cumple **OC + OD = MN**.

53. Perfil de una excéntrica

Considerando el caso sencillo de la excéntrica de primera clase, se traza un diagrama espacio-tiempo, poniendo en ordenadas la magnitud natural del movimiento periódico que ha de recibir el vástago, movimiento (fig. IV, 132) que tiene generalmente un período $\mathbf{T}_a$ *coincidente con el período* **T** *del movimiento de rotación de la excéntrica.* Esta condición no es obligatoria, puesto que puede ser que $\mathbf{T}_a$ sea la mitad,

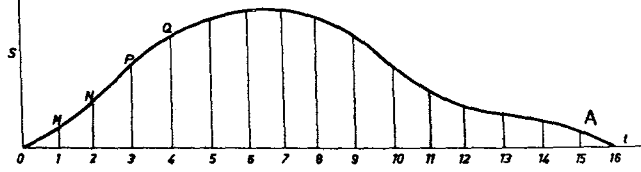


Fig. IV, 132. *Diagrama del desplazamiento de una excéntrica de primera especie.*

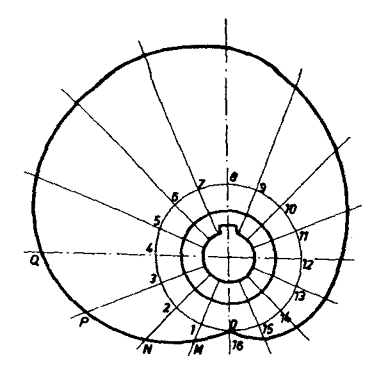


Fig. IV, 133. *Perfil de la excéntrica que realiza el diagrama de la* figura IV, 132.

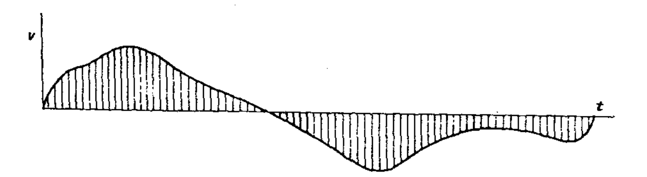


Fig. IV, 134. *Diagrama de las velocidades de la varilla correspondiente a la excéntrica de la* figura IV, 133.

un tercio, un cuarto, etc., de **T**, en cuyo caso el vástago efectuará dos, tres, cuatro, etc., carreras a cada vuelta de la excéntrica.

Dividiendo el período **OA** en un número cualquiera de partes iguales, 16, por ejemplo, y trazando las ordenadas **1M**, **2N**, **3P**, etc., correspondientes a las divisiones del período, se dibuja una circunferencia (fig. IV, 133) que se divide en el mismo número de partes iguales en que se dividió **OA**. Entonces, a partir de uno de los puntos de división, se llevan radial y ordenadamente los segmentos **1M**, **2N**, **3P**, etcétera. Uniendo con una curva continua los extremos **M**, **N**, **P**, de dichos segmentos, se obtiene el perfil de la excéntrica que produce el diagrama del movimiento deseado.

Si, como ocurre normalmente, el movimiento giratorio de la excéntrica es uniforme, **la diferencia entre cada ordenada y la precedente** (por ejemplo **4Q-3P**) **es proporcional a la velocidad media del vástago en el intervalo considerado**. Podemos también trazar el diagrama de estas velocidades (fig. IV, 134). *En lo que respecta a* **la escala de velocidades**, recordemos que la velocidad media viene dada por **s/t**, es decir, por el espacio recorrido (diferencia entre las dos ordenadas) y el intervalo de tiempo considerado. Llamando ahora **n** al número de revoluciones por segundo (esto es, a la inversa de **T**) y **p** al número de partes en que se ha dividido el período, la velocidad media del intervalo de tiempo 3-4 es:

$$V_{3-4} = \frac{4Q - 3P}{\frac{T}{p}} = \frac{p(4Q - 3P)}{T}$$

Es decir, *la magnitud de la velocidad correspondiente a un intervalo de tiempo viene dada por la diferencia de las ordenadas que limitan el intervalo, multiplicada por* **np**.

Si los movimientos de ascenso y descenso del vástago fuesen uniformes (fig. IV, 135), aplicando la construcción precedente, obtendríamos la **excéntrica de corazón** (fig. IV, 136). *El diagrama de velocidades correspondiente está formado por dos rectángulos.* Se comprueba que en el punto de ordenada **AB** tiene lugar un cambio de velocidad *muy brusco* y, por tanto, una aceleración elevadísima, que da lugar a golpes, vibraciones y otros inconvenientes, intolerables, si el movimiento es rápido. Por ello, el perfil de la

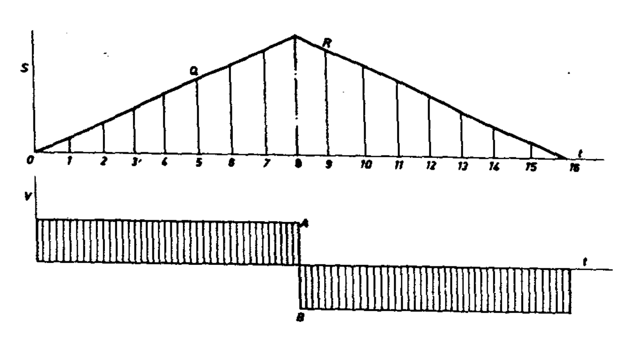


Fig. IV, 135. *Diagrama de los recorridos y de las velocidades cuando el movimiento de subida y bajada es uniforme.*

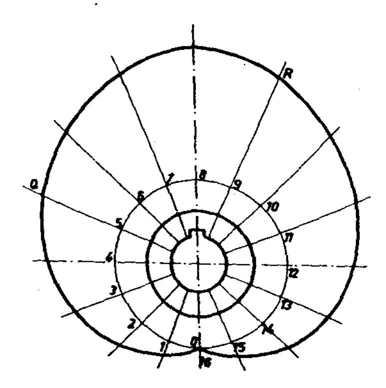


Fig. IV, 136. *Excéntrica de corazón, que realiza el diagrama de la figura anterior.*

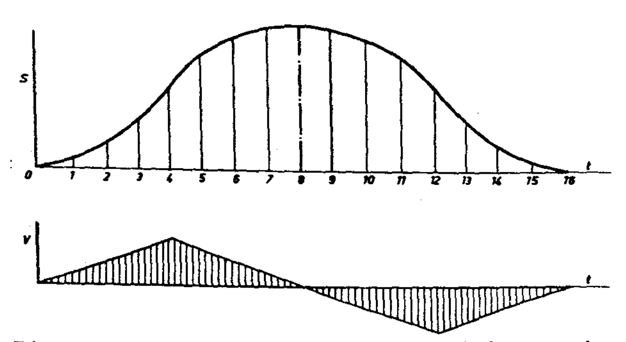


Fig. IV, 137. *Redondeando el diagrama de los espacios se obtiene un funcionamiento sin choques o vibraciones.*

excéntrica de corazón se retoca corrientemente de manera que el diagrama de desplazamientos tenga un trazado redondeado (fig. IV, 137) y *el diagrama de velocidades toma la forma de un doble triángulo isósceles, en lugar de un doble rectángulo;* en este caso el vástago (fig. IV, 138) se mueve primeramente con movimiento uniformemente acelerado, y luego con movimiento uniformemente retardado.

54. Excéntrica de collar

Esta excéntrica (fig. IV, 139) *puede sustituir el mecanismo de biela y manivela* (n.° 49). Está constituida por una placa circular cuyo centro de rotación **A** está a una distancia **e** (excentricidad) del centro **O** del círculo. Un collar, con una prolongación, abraza la placa y, cuando el disco gira, sufren un desplazamiento fácil de determinar, cuando su prolongación está guiada. En estas condiciones, se considera que la trayectoria de **O** es una circunferencia de centro **A** y radio **e.** Por ejemplo, cuando **O** llega a $\mathbf{O_1}$, el punto **P**, que se supone forzado a desplazarse sobre la recta **AP**, habrá alcanzado la posición $\mathbf{P_1}$ y así sucesivamente. Cuando **O** llega a $\mathbf{O_2}$, **P** se encuentra en $\mathbf{P_2}$, y ha realizado su carrera completa, igual a **2e**. Si **e** es muy pequeño comparado con **OP** el movimiento de **P** puede considerarse como armónico, como dijimos también para el mecanismo de biela y manivela, cuya biela fuera muy larga comparada con la manivela.

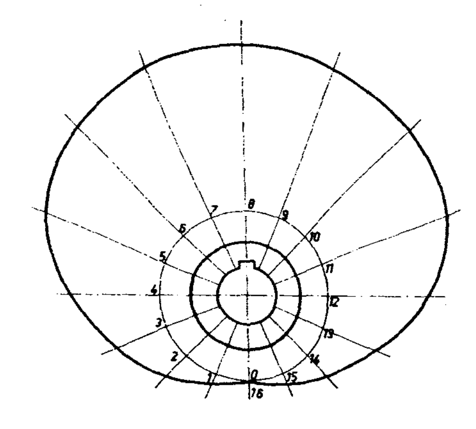


Fig. IV, 138. *Perfil de la excéntrica que realiza el diagrama de la* figura IV, 137.

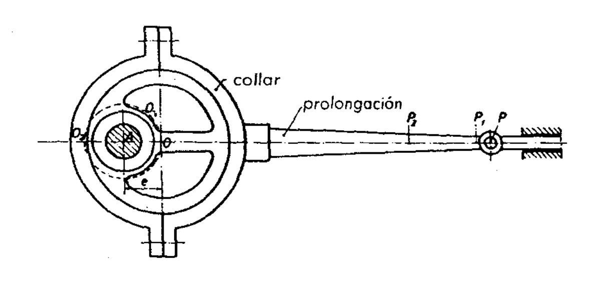


Fig. IV, 139. *Excéntrica de collar.*

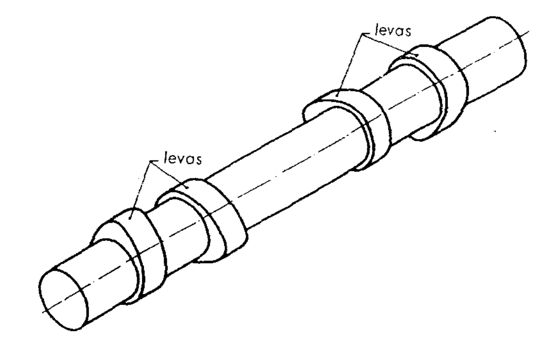


Fig. IV, 140. *Árbol de levas.*

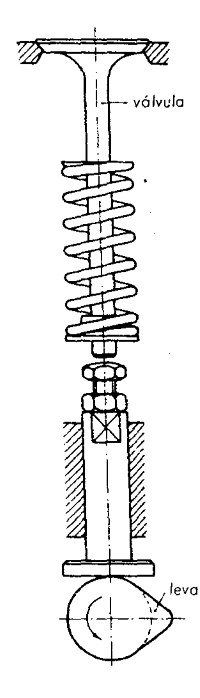


Fig. IV, 141. *Esquema de aplicación de un árbol de levas.*

55. Árboles de levas

Cuando un mismo árbol deba mover varios vástagos, cada uno de los cuales deba tener un movimiento rectilíneo alternativo según una ley determinada, se emplean los **árboles de levas** (fig. IV, 140) esto es, *árboles que llevan varias excéntricas* (o *levas*) cada una de las cuales está trazada según las reglas expuestas anteriormente y **orientada,** *respecto a las demás,* **de modo que el movimiento de los distintos vástagos se efectúe siguiendo un orden establecido.** Un caso típico de empleo de árboles de esta clase se da en las *distribuciones de los motores de explosión de varios cilindros,* en los que el árbol de levas gobierna la apertura y cierre de las válvulas (fig. IV, 141).

PARTE QUINTA — TABLAS NUMERICAS Y DE MATERIALES

DATOS SOBRE LAS BARRAS DE ACERO

Tablas numéricas

Cuadrados, cubos, raíces cuadradas y cúbicas, circunferencia, área del círculo, logaritmos decimales de los números de 1 a 1000

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	log n
1	1	1	1,0000	1,0000	3,142	0,7854	0,00000
2	4	8	1,4142	1,2599	6,283	3,1416	0,30103
3	9	27	1,7321	1,4426	9,425	7,0686	0,47712
4	16	64	2,0000	1,5874	12,566	12,5664	0,60206
5	25	125	2,2361	1,7100	15,708	19,6350	0,69897
6	36	216	2,4495	1,8171	18,850	28,2743	0,77815
7	49	343	2,6458	1,9129	21,991	38,4845	0,84510
8	64	512	2,8284	2,0000	25,133	50,2655	0,90309
9	81	729	3,0000	2,0801	28,274	63,6173	0,95424
10	100	1000	3,1623	2,1544	31,416	78,5398	1,00000
11	121	1331	3,3166	2,2240	34,558	95,0332	1,04139
12	144	1728	3,4641	3,2894	37,699	113,097	1,07918
13	169	2197	3,6056	2,3513	40,841	132,732	1,11394
14	196	2744	3,7417	2,4101	43,982	153,938	1,14613
15	225	3375	3,8730	2,4662	47,124	176,715	1,17609
16	256	4096	4,0000	2,5198	50,265	201,062	1,20412
17	289	4913	4,1231	2,5713	53,407	226,980	1,23045
18	324	5832	4,2426	2,6207	56,549	254,469	1,25527
19	361	6859	4,3589	2,6684	59,690	283,529	1,27875
20	400	8000	4,4721	2,7144	62,832	314,159	1,30103
21	441	9261	4,5826	2,7589	65,973	346,361	1,32222
22	484	10648	4,6904	2,8020	69,115	380,133	1,34242
23	529	12167	4,7958	2,8439	72,257	415,476	1,36273
24	576	13824	4,8990	2,8845	75,398	452,389	1,38021
25	625	15625	5,0000	2,9240	78,540	490,874	1,39794
26	676	17576	5,0990	2,9625	81,681	530,929	1,41497
27	729	19683	5,1962	3,0000	84,823	572,555	1,43136
28	784	21952	5,2915	3,0366	87,965	615,752	1,44716
29	841	24389	5,3852	3,0723	91,106	660,520	1,46240
30	900	27000	5,4772	3,1072	94,248	706,858	1,47712
31	961	29791	5,5678	3,1414	97,389	754,768	1,49136
32	1024	32768	5,6569	3,1748	100,531	804,248	1,50515
33	1089	35937	5,7446	3,2075	103,673	855,299	1,51851
34	1156	39304	5,8310	3,2396	106,814	907,920	1,53148
35	1225	42875	5,9161	3,2711	109,956	962,113	1,54407
36	1296	46656	6,0000	3,3019	113,097	1017,88	1,55630
37	1369	50653	6,0828	3,3322	116,239	1075,21	1,56820
38	1444	54872	6,1645	3,3620	119,381	1134,11	1,57978
39	1521	59319	6,2420	3,3912	122,522	1194,59	1,59106
40	1600	64000	6,3464	3,4200	125,66	1256,64	1,60206
41	1681	68921	6,4031	3,4482	128,81	1320,25	1,61278
42	1764	74088	6,4807	3,4760	131,95	1385,44	1,62325
43	1849	79507	6,5574	3,5034	135,09	1452,20	1,63347
44	1936	85184	6,6332	3,5303	138,23	1520,53	1,64345
45	2025	91125	6,7082	3,5569	141,37	1590,43	1,65321
46	2116	97336	6,7823	3,5830	144,51	1661,90	1,66276
47	2209	103823	6,8557	3,6088	147,65	1734,94	1,67210
48	2304	110592	6,9282	3,6342	150,80	1809,56	1,68124
49	2401	117649	7,0000	3,6593	153,94	1885,74	1,69020
50	2500	125000	7,0711	3,6840	157,08	1963,50	1,69897

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	log n
51	2601	132651	7,1414	3,7084	160,22	2042,82	1,70757
52	2704	140608	7,2111	3,7325	163,36	2123,72	1,71600
53	2809	148877	7,2801	3,7563	166,50	2206,18	1,72428
54	2916	157464	7,3485	3,7798	169,65	2290,22	1,73239
55	3025	166375	7,4162	3,8030	172,70	2375,83	1,74036
56	3136	175616	7,4833	3,8259	175,93	2463,01	1,74819
57	3249	185193	7,5498	3,8485	179,07	2551,76	1,75587
58	3364	195112	7,6158	3,8709	182,21	2642,08	1,76343
59	3481	205379	7,6811	3,8930	185,35	2733,97	1,77085
60	3600	216000	7,7460	3,9149	188,50	2827,43	1,77815
61	3721	226981	7,8102	3,9365	191,64	2922,47	1,78533
62	3844	238327	7,8740	3,9579	194,78	3019,07	1,79239
63	3969	250047	7,9373	3,9791	197,92	3117,25	1,79934
64	4096	262144	8,0000	4,0000	201,06	3216,99	1,80618
65	4225	274625	8,0623	4,0207	204,20	3318,31	1,81291
66	4356	287496	8,1240	4,0412	207,35	3421,19	1,81954
67	4489	300763	8,1854	4,0615	210,49	3525,65	1,82607
68	4624	314432	8,2462	4,0817	213,63	3631,68	1,83251
69	4761	328509	8,3066	4,1016	216,77	3739,28	1,83885
70	4900	343000	8,3666	4,1213	219,91	3848,45	1,84510
71	5041	357911	8,4261	4,1408	223,05	3959,19	1,85126
72	5184	373248	8,4853	4,1602	226,19	4071,50	1,85733
73	5329	389017	8,5440	4,1793	229,34	4185,39	1,86332
74	5476	405224	8,6023	4,1983	232,48	4300,84	1,86923
75	5625	421875	8,6603	4,2172	235,62	4417,86	1,87506
76	5776	438976	8,7178	4,2358	238,76	4536,46	1,88081
77	5929	456533	8,7750	4,2543	241,90	4656,63	1,88649
78	6084	474552	8,8318	4,2727	245,04	4778,36	1,89209
79	6241	493039	8,8882	4,2908	248,19	4901,67	1,89763
80	6400	512000	8,9443	4,3089	251,33	5026,55	1,90309
81	6561	531441	9,0000	4,3267	254,47	5153,00	1,90849
82	6724	551368	9,0554	4,3445	257,61	5281,02	1,91381
83	6889	571787	9,1104	4,3621	260,75	5410,61	1,91908
84	7056	592704	9,1652	4,3795	263,89	5541,77	1,92428
85	7225	614125	9,2195	4,3968	267,04	5674,50	1,92942
86	7396	636056	9,2736	4,4140	270,18	5808,80	1,93450
87	7569	658503	9,3274	4,4310	273,32	5944,68	1,93952
88	7744	681472	9,3808	4,4480	276,46	6082,12	1,94448
89	7921	704969	9,4340	4,4647	279,60	6221,14	1,94939
90	8100	729000	9,4868	4,4814	282,74	6361,73	1,95424
91	8281	753571	9,5394	4,4979	285,88	6503,88	1,95904
92	8464	678688	9,5917	4,5144	289,03	6647,61	1,96379
93	8649	804357	9,6437	3,5307	292,17	6792,91	1,96848
94	8836	830584	9,6954	4,5468	295,31	6939,78	1,97313
95	9025	857375	9,7468	4,5629	298,45	7088,22	1,97772
96	9216	884736	9,7980	4,5789	301,59	7238,23	1,98227
97	9409	912673	9,8489	4,5947	304,73	7389,81	1,98677
98	9604	941192	9,8995	4,6104	307,88	7542,96	1,99123
99	9801	970299	9,9499	4,6261	311,02	7697,69	1,99564
100	10000	1000000	10,0000	4.6416	314,16	7853,98	2,00000

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	log n
101	10201	1030301	10,0499	4,6570	317,30	8011,85	2,00432
102	10404	1061208	10,0995	4,6723	320,44	8171,28	2,00860
103	10609	1092727	10,1489	4,6875	323,58	8332,29	2,01284
104	10816	1124864	10,1980	4,7027	326,73	8494,87	2,01703
105	11025	1157625	10,2470	4,7177	329,87	8659,01	2,02119
106	11236	1191016	10,2956	4,7326	333,01	8824,73	2,02531
107	11449	1225043	10,3441	4,7475	336,15	8992,02	2,02938
108	11664	1259712	10,3923	4,7622	339,29	9160,88	2,03342
109	11881	1295029	10,4403	4,7769	342,43	93,3132	2,03743
110	12100	1331000	10,4881	4,7914	345,58	9503,32	2,04139
111	12321	1367631	10,5357	4,8059	348,72	9676,89	2,04532
112	12544	1404928	10,5830	4,8203	351,86	9852,03	2,04922
113	12769	1442897	10,6301	4,8346	355,00	10028,7	2,05308
114	12996	1481544	10,6771	4,8488	358,14	10207,0	2,05690
115	13225	1520875	10,7238	4,8629	361,28	10386,9	2,06070
116	13456	1560896	10,7703	4,8770	364,42	10568,3	2,06446
117	13689	1601613	10,8167	4,8910	367,57	10751,3	2,06819
118	13924	1643032	10,8628	4,9049	370,71	10935,9	2,07188
119	14161	1685159	10,9087	4,9187	373,85	11122,0	2,07555
120	14400	1728000	10,9545	4,9324	376,99	11309,7	2,07918
121	14641	1771561	11,0000	4,9461	380,13	11499,0	2,08279
122	14884	1815848	11,0454	4,9597	383,27	11689,9	2,08636
123	15129	1860867	11,0905	4,9732	386,42	11882,3	2,08991
124	15376	1906624	11,1355	4,9866	389,56	12076,3	2,09342
125	15625	1953125	11,1803	5,0000	392,70	12271,8	2,09691
126	15876	2000376	11,2250	5,0133	395,84	12469,0	2,10037
127	16129	2048383	11,2694	5,0265	398,98	12667,7	2,10380
128	16384	2097152	11,3137	5,0397	402,12	12868,0	2,10721
129	16641	2146689	11,3578	5,0528	405,27	13069,8	2,11059
130	16900	2197000	11,4018	5,0658	408,41	13273,2	2,11394
131	17161	2248091	11,4455	5,0788	411,55	13478,2	2,11727
132	17424	2299968	11,4891	5,0916	414,69	13684,8	2,12057
133	17689	2352637	11,5326	5,1045	417,83	13892,9	2,12385
134	17956	2406104	11,5758	5,1172	420,97	14102,6	2,12710
135	18225	2460375	11,6190	5,1299	424,12	14313,9	2,13033
136	18496	2515456	11,6619	5,1426	427,26	14526,7	2,13354
137	18769	2571353	11,7047	5,1551	430,40	14741,1	2,13672
138	19044	2628072	11,7473	5,1676	433,54	14957,1	2,13988
139	19321	2685619	11,7898	5,1801	436,68	15174,7	2,14301
140	19600	2744000	11,8322	5,1925	439,82	15393,8	2,14613
141	19881	2803221	11,8743	5,2048	442,96	15614,5	2,14922
142	20164	2863288	11,9164	5,2171	446,11	15836,8	2,15229
143	20449	2924207	11,9583	5,2293	449,25	16060,6	2,15534
144	20736	2985984	12,0000	5,2415	452,39	16286,0	2,15836
145	21025	3048625	12,0416	5,2536	455,53	16513,0	2,16137
146	21316	3112130	12,0830	5,2656	458,67	16741,5	2,16435
147	21609	3176523	12,1244	5,2776	461,81	16971,7	2,16732
148	21904	3241792	12,1655	5,2896	464,96	17203,4	2,17026
149	22201	3307949	12,2066	5,3015	468,10	17436,6	2,17319
150	22500	3375000	12,2474	5,3133	471,24	17671,5	2,17609

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	log n
151	22801	3442951	12,2882	5,3251	474,38	17907,2	2,17898
152	23104	3511808	12,3288	5,3368	477,52	18145,8	2,18184
153	23409	3581577	12,3693	5,3485	480,66	18385,4	2,18469
154	23716	3652264	12,4097	5,3601	483,81	18626,5	2,18752
155	24025	3723875	12,4499	5,3717	486,95	18869,2	2,19033
156	24336	3796416	12,4900	5,3832	490,09	19113,4	2,19312
157	24649	3869893	12,5300	5,3947	493,23	19359,3	2,19590
158	24964	3944312	12,5698	5,4061	496,37	19606,7	2,19866
159	25281	4019679	12,6095	5,4175	499,51	19855,7	2,20140
160	25600	4096000	12,6491	5,4288	502,65	20106,2	2,20412
161	25921	4173281	12,6886	5,4401	505,80	20358,3	2,20683
162	26244	4251528	12,7279	5,4514	508,94	20612,0	2,20952
163	26569	4330747	12,7671	5,4626	512,08	20867,2	2,21219
164	26896	4410944	12,8062	5,4737	515,22	21124,1	2,21484
165	27225	4492125	12,8452	5,4848	518,36	21382,5	2,21748
166	27556	4574296	12,8841	5,4959	521,50	21642,4	2,22011
167	27889	4657463	12,9228	5,5069	524,65	21904,0	2,22272
168	28224	4741632	12,9615	5,5178	527,79	22167,1	2,22531
169	28561	4826809	13,0000	5,5288	530,93	22431,8	2,22789
170	28900	4913000	13,0384	5,5397	534,07	22698,0	2,23045
171	29241	5000211	13,0767	5,5505	537,21	22965,8	2,23300
172	29584	5088448	13,1149	5,5613	540,35	23235,2	2,23553
173	29929	5177717	13,1529	5,5721	543,50	23506,2	2,23805
174	30276	5268024	13,1909	5,5828	546,64	23778,7	2,24055
175	30625	5359375	13,2288	5,5934	549,78	24052,8	2,24304
176	30976	5451776	13,2665	5,6041	552,92	24328,5	2,24551
177	31329	5545233	13,3041	5,6147	556,06	24605,7	2,24797
178	31684	5639752	13,3417	5,6252	559,20	24884,6	2,25042
179	32041	5735339	13,3791	5,6357	562,35	25164,9	2,25285
180	32400	5832000	13,4164	5,6462	565,49	25446,9	2,25527
181	32761	5929741	13,4536	6,6567	568,63	25730,4	2,25768
182	33124	6028568	13,4907	5,6671	571,77	26015,5	2,26007
183	33489	6128487	13,5277	5,6674	574,91	26302,2	2,26245
184	33856	6229504	13,5647	5,6877	578,05	26590,4	2,26482
185	34225	6331625	13,6015	5,6980	581,19	26880,3	2,26717
186	34596	6434856	13,6382	5,7083	584,34	27171,6	2,26951
187	34968	6539203	13,6748	5,7185	587,48	27464,6	2,27184
188	35344	6644672	13,7113	5,7287	590,62	27759,1	2,27416
189	35721	6751269	13,7477	5,7388	593,76	28055,2	2,27646
190	36100	6859000	13,7840	5,7489	596,90	28352,9	2,27875
191	36481	6967871	13,8203	5,7590	600,04	28652,1	2,28103
192	36864	7077888	13,8564	5,7690	603,19	28952,9	2,28330
193	37249	7189057	13,8924	5,7790	606,33	29255,3	2,28556
194	37636	7301384	13,9284	5,7890	609,47	29559,2	2,28780
195	38025	7414875	13,9642	5,7989	612,61	29864,8	2,29003
196	38416	7529536	14,0000	5,8088	615,75	30171,9	2,29226
197	38809	7645373	14,0357	5,8186	618,89	30580,5	2,29447
198	39204	7762392	14,0712	5,8285	622,04	30790,7	2,29667
199	39601	7880599	14,1067	5,8383	625,18	31102,6	2,29885
200	40000	8000000	14,1421	5,8480	628,32	31415,9	2,30103

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	log n
201	40401	8120601	14,1774	5,8578	631,46	31730,9	2,30320
202	40804	8242408	14,2127	5,8675	634,60	32047,4	2,30535
203	41209	8365427	14,2478	5,8771	637,74	32365,5	2,30750
204	41616	8489664	14,2829	5,8868	640,88	32685,1	2,30963
205	42025	8615125	14,3178	5,8964	644,03	33006,4	2,31175
206	42436	8741816	14,3527	5,9059	647,17	33329,2	2,31387
207	42849	8869743	14,3875	5,9155	650,31	33653,5	2,31597
208	43264	8998912	14,4222	5,9250	653,45	33979,5	2,31806
209	43681	9129329	14,4568	5,9345	656,59	34307,0	2,32015
210	44100	9261000	14,4914	5,9439	659,73	34636,1	2,32222
211	44521	9393931	14,5258	5,9533	662,88	34966,7	2,32428
212	44944	9528128	14,5602	5,9627	666,02	35298,9	2,32634
213	45369	9663597	14,5945	5,9721	669,16	35632,7	2,32838
214	45796	9800344	14,6287	5,9814	672,30	35968,1	2,33041
215	46225	9938375	14,6629	5,9907	675,44	36305,0	2,33244
216	46656	10077696	14,6969	6,0000	678,58	36643,5	2,33445
217	47089	10218313	14,7309	6,0092	681,73	36983,6	2,33646
218	47524	10360232	14,7648	6,0185	684,87	37325,3	2,33846
219	47961	10503459	14,7986	6,0277	688,01	37668,5	2,34044
220	48400	10648000	14,8324	6,0368	691,15	38013,3	2,34242
221	48841	10793861	14,8661	6,0459	694,29	38359,6	2,34439
222	49284	10941048	14,8997	6,0550	697,43	38707,6	2,34635
223	49729	11089567	14,9332	6,0641	700,58	39057,1	2,34830
224	50176	11239424	14,9666	6,0732	703,72	39048,1	2,35025
225	50625	11390625	15,0000	6,0822	706,86	39760,8	2,35218
226	51076	11543176	15,0333	6,0912	710,00	40115,0	2,35411
227	51529	11697083	15,0665	6,1002	713,14	40470,8	2,35603
228	51984	11852352	15,0997	6,1091	716,28	40828,1	2,35793
229	52441	12008989	15,1327	6,1180	719,42	41187,1	2,35984
230	52900	12167000	15,1658	6,1269	722,57	41547,6	2,36173
231	53361	12326391	15,1987	6,1358	725,71	41909,6	2,36361
232	53824	12487168	15,2315	6,1446	728,85	42273,3	2,36549
233	54289	12649337	15,2643	6,1534	731,99	42638,5	2,36736
234	54756	12812904	15,2971	6,1622	735,13	43005,3	2,36922
235	55225	12977875	15,3297	6,1710	738,27	43373,6	2,37107
236	55696	13144256	15,3623	6,1797	741,42	43743,5	2,37291
237	56169	13312053	15,3948	6,1885	744,56	44115,0	3,37475
238	56644	13481272	15,4272	6,1972	747,70	44488,1	2,37658
239	57121	13651919	15,4596	6,2058	750,84	44862,7	2,37840
240	57600	13824000	15,4919	6,2145	753,98	45238,9	2,38021
241	58081	13997521	15,5242	6,2231	757,12	45616,7	2,38202
242	58564	14172488	15,5563	6,2317	760,27	45996,1	2,38382
243	59049	14348907	15,5885	6,2403	763,41	46377,0	2,38561
244	59536	14526784	15,6205	6,2488	766,55	46759,5	2,38739
245	60025	14706125	15,6525	6,2573	769,69	47143,5	2,38917
246	60516	14886936	15,6844	6,2658	772,83	47529,2	2,39094
247	61009	15069223	15,7162	6,2743	775,97	47916,4	2,39270
248	61504	15252992	15,7480	6,2828	779,11	48305,1	2,39445
249	62001	15438249	15,7797	6,2912	782,26	48695,5	2,39620
250	62500	15625000	15,8114	6,2996	785,40	49087,4	2,39794

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	log n
251	63001	15813251	15,8430	6,3080	788,54	49480,9	2,39967
252	63504	16003008	15,8745	6,3164	791,68	49875,9	2,40140
253	64009	16194277	15,9060	6,3247	794,82	50272,6	2,40312
254	64516	16387064	15,9374	6,3330	797,96	50670,7	2,40483
255	65025	16581375	15,9687	6,3413	801,11	51070,5	2,40654
256	65536	16777216	16,0000	6,3496	804,25	51471,9	2,40824
257	66049	16974593	16,0312	6,3579	807,39	51874,8	2,40993
258	66564	17173512	16,0624	6,3661	810,53	52279,2	2,41162
259	67081	17373979	16,0935	6,3743	813,67	52685,3	2,41330
260	67600	17576000	16,1245	6,3825	816,81	53092,9	2,41497
261	68121	17779581	16,1555	6,3907	819,96	53502,1	2,41664
262	68644	17984728	16,1864	6,3988	823,10	53912,9	2,41830
263	69169	18191447	16,2173	6,4070	826,24	54325,2	2,41996
264	69696	18399744	16,2481	6,4151	829,38	54739,1	2,42160
265	70225	18609625	16,2788	6,4232	832,52	55154,6	2,42325
266	70756	18821096	16,3095	6,4312	835,66	55571,6	2,42488
267	71289	19034163	16,3401	6,4393	838,81	55990,2	2,42651
268	71824	19248832	16,3707	6,4473	841,95	56410,4	2,42813
269	72361	19465109	16,4012	6,4553	845,09	56832,2	2,42975
270	72900	19683000	16,4317	6,4633	848,23	57255,5	2,43136
271	73441	19902511	16,4621	6,4713	851,37	57680,4	2,43297
272	73984	20123648	16,4924	6,4792	854,51	58106,9	2,43457
273	74529	20346417	16,5227	6,4872	857,65	58534,9	2,43616
274	75076	20570824	16,5529	6,4951	860,80	58964,6	2,43775
275	75625	20796875	16,5831	6,5030	863,94	59395,7	2,43933
276	76176	21024576	16,6132	6,5108	867,08	59828,5	2,44091
277	76729	21253933	16,6433	6,5187	870,22	60262,8	2,44248
278	77284	21484952	16,6733	6,5265	873,36	60698,7	2,44404
279	77841	21717639	16,7033	6,5343	876,50	61136,2	2,44560
280	78400	21952000	16,7332	6,4321	879,65	61575,2	2,44716
281	78961	22188041	16,7631	6,5499	882,79	62015,8	2,44871
282	79524	22425768	16,7929	6,5577	885,93	62458,0	2,45025
283	80089	22665187	16,8226	6,5654	889,07	62901,8	2,45179
284	80656	22906304	16,8523	6,5731	892,21	63347,1	2,45332
285	81225	23149125	16,8819	6,5808	895,35	63794,0	2,45484
286	81796	23393656	16,9115	6,5885	898,50	64242,4	2,45637
287	82369	23639903	16,9411	6,5962	901,64	64692,5	2,45788
288	82944	23887872	16,9706	6,6039	904,78	65144,1	2,45939
289	83521	24137569	17,0000	6,6115	907,92	65597,2	2,46090
290	84100	24389000	17,0294	6,6119	911,06	66052,0	2,46240
291	84681	24642171	17,0587	6,6267	914,20	66508,3	2,46389
292	85264	24897088	17,0880	6,6343	917,35	66966,2	2,46538
293	85849	25153757	17,1172	6,6419	920,49	67425,6	2,46687
294	86436	25412184	17,1464	6,6494	923,63	67886,7	2,46835
295	87025	25672375	17,1756	6,6569	926,77	68349,3	2,46982
296	87616	25934336	17,2047	6,6644	929,91	68813,4	2,47129
297	88209	26198073	17,2337	6,6719	933,05	69279,2	2,47276
298	88804	26463592	17,2627	6,6794	936,19	69746,5	2,47422
299	89401	26730899	17,2916	6,6869	939,34	70215,4	2,47567
300	90000	27000000	17,3205	6,6943	942,48	70685,8	2,47712

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	log n
301	90601	27270901	17,3494	6,7018	945,62	71157,9	2,47857
302	91204	27543608	17,3781	6,7092	948,76	71631,5	2,48001
303	91809	27818127	17,4069	6,7166	951,90	72106,6	2,48144
304	92416	28094464	17,4356	6,7240	955,04	72583,4	2,48287
305	93025	28373625	17,4642	6,7313	958,19	73061,7	2,48430
306	93636	28652616	17,4929	6,7387	961,33	73541,5	2,48572
307	94249	28934443	17,5214	6,7460	964,47	74023,0	2,48714
308	94864	29218112	17,5499	6,7533	967,61	74506,0	2,48855
309	95481	29503629	17,5784	6,7607	970,75	74990,6	2,48996
310	96100	29791000	17,6068	6,7679	973,89	75476,8	2,49136
311	96721	30080231	17,6352	6,7752	977,04	75964,5	2,49276
312	97344	30371328	17,6635	6,7824	980,18	76453,8	2,49415
313	97969	30664297	17,6918	6,7897	983,32	76944,7	2,49554
314	98596	30959144	17,7200	6,7969	986,46	77437,1	2,49693
315	99225	31255875	17,7482	6,8041	989,60	77931,1	2,49831
316	99856	31554496	17,7764	6,8113	992,74	78426,7	2,49969
317	100489	31855013	17,8045	6,8185	995,88	78923,9	2,50106
318	101124	32157432	17,8326	6,8256	999,03	79422,6	2,50243
319	101761	32461759	17,8606	6,8328	1002,2	79922,9	2,50379
320	102400	32768000	17,8885	6,8399	1005,3	80424,8	2,50515
321	103041	33076161	17,9165	6,8470	1008,5	80928,2	2,50651
322	103684	33386248	17,9444	6,8541	1011,6	81433,2	2,50786
323	104329	33698267	17,9722	6,8612	1014,7	81939,8	2,50920
324	104976	34012224	18,0000	6,8683	1017,9	82448,0	2,51055
325	105625	34328125	18,0278	6,8753	1021,0	82957,7	2,51188
326	106276	34645976	18,0555	6,8824	1024,2	83469,0	2,51322
327	106929	34965783	18,0831	6,8894	1027,3	83981,8	2,51455
328	107584	35287552	18,1108	6,8964	1030,4	84496,3	2,51587
329	108241	35611289	18,1384	6,9034	1033,6	85012,3	2,51720
330	108900	35937000	18,1659	6,9104	1036,7	85529,9	2,51851
331	109561	36264691	18,1934	6,9174	1039,9	86049,0	2,51983
332	110224	36594368	18,2209	6,9244	1043,0	86569,7	2,52114
333	110889	36926037	18,2483	6,9313	1046,2	87092,0	2,52244
334	111556	37259704	18,2757	6,9382	1049,3	87615,9	2,52375
335	112225	37595375	18,3030	6,9451	1052,4	88141,3	2,52504
336	112896	37933056	18,3303	6,9521	1055,6	88668,3	2,52634
337	113569	38272753	18,3576	6,9589	1058,7	89196,9	2,52763
338	114244	38614472	18,3848	6,9658	1061,9	89727,0	2,52892
339	114921	38958219	18,4120	6,9727	1065,0	90258,7	2,53020
340	115600	39304000	18,4391	5,9795	1068,1	90792,0	2,53148
341	116281	39651821	18,4662	6,9864	1071,3	91326,9	2,53275
342	116964	40001688	18,4932	6,9932	1074,4	91863,3	2,53403
343	117649	40353607	18,5203	7,0000	1077,6	92401,3	2,53529
344	118336	40707584	18,5472	7,0068	1080,7	92940,9	2,53656
345	119025	41063625	18,5742	7,0136	1083,8	93482,0	2,53782
346	119716	41421736	18,6011	7,0203	1087,0	94024,7	2,53908
347	120409	41781923	18,6279	7,0271	1090,1	94569,0	2,54033
348	121104	42144192	18,6548	7,0338	1093,3	95114,9	2,54158
349	121801	42508549	18,6815	7,0406	1096,4	95662,3	2,54283
350	122500	42875000	18,7083	7,0473	1099,6	96211,3	2,54407

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	log n
351	123201	43243551	18,7350	7,0540	1102,7	96761,8	2,54531
352	123904	43614208	18,7617	7,0607	1105,8	97314,0	2,54654
353	124609	43986977	18,7883	7,0674	1109,0	97867,7	2,54777
354	125316	44361864	18,8149	7,0740	1112,1	98423,0	2,54900
355	126025	44738875	18,8414	7,0807	1115,3	98979,8	2,55023
356	126736	45118016	18,8680	7,0873	1118,4	99538,2	2,55145
357	127449	45499293	18,8944	7,0940	1121,5	100098	2,55267
358	128164	45882712	18,9209	7,1006	1124,7	100660	2,55388
359	128881	46268279	18,9473	7,1072	1127,8	101223	2,55509
360	129600	46656000	18,9737	7,1138	1131,0	101788	2,55630
361	130321	47045881	19,0000	7,1204	1134,1	102354	2,55751
362	131044	47437928	19,0263	7,1269	1137,3	102922	2,55871
363	131769	47832147	19,0526	7,1335	1140,4	103491	2,55991
364	132496	48228544	19,0788	7,1400	1143,5	104062	2,56110
365	133225	48627125	19,1050	7,1466	1146,7	104635	2,56229
366	133956	49027896	19,1311	7,1531	1149,8	105209	2,56348
367	134689	49430863	19,1572	7,1596	1153,0	105785	2,56467
368	135424	49836032	19,1833	7,1661	1156,1	106362	2,56585
369	136161	50243409	19,2094	7,1726	1159,2	106941	2,56703
370	136900	50653000	19,2354	7,1791	1162,4	107521	2,56820
371	137641	51064811	19,2614	7,1855	1165,5	108103	2,56937
372	138384	51478848	19,2873	7,1920	1168,7	108687	2,57054
373	139129	51895117	19,3132	7,1984	1171,8	109272	2,57171
374	139876	52313624	19,3391	7,2048	1175,0	109858	2,57287
375	140625	52734375	19,3649	7,2112	1178,1	110447	2,57403
376	141376	53157376	19,3907	7,2177	1181,2	111036	2,57519
377	142129	53582633	19,4165	7,2240	1184,4	111628	2,57634
378	142884	54010152	19,4422	7,2304	1187,5	112221	2,57749
379	143641	54439939	19,4679	7,2368	1190,7	112815	2,57864
380	144400	54872000	19,4936	7,2432	1193,8	113411	2,57978
381	145161	55306341	19,5192	7,2495	1196,9	114009	2,58092
382	145924	55742968	19,5448	7,2558	1200,1	114608	2,58206
383	146689	56181887	19,5704	7,2622	1203,2	115209	2,58320
384	147456	56623104	19,5959	7,2685	1206,4	115812	2,58433
385	148225	57066625	19,6214	7,2748	1209,5	116416	2,58546
386	148996	57512456	19,6469	7,2811	1212,7	117021	2,58659
387	149769	57960603	19,6723	7,2874	1215,8	117628	2,58771
388	150544	58411072	19,6977	7,2936	1218,9	118237	2,58883
389	151321	58863869	19,7231	7,2999	1222,1	118847	2,58995
390	152100	59319000	19,7484	7,4061	1225,2	119459	2,59106
391	152881	59776471	19,7737	7,3124	1228,4	120072	2,59218
392	153664	60236288	19,7990	7,3186	1231,5	120687	2,59329
393	154449	60698457	19,8242	7,3248	1234,6	121304	2,59439
394	155236	61162984	19,8494	7,3310	1237,8	121922	2,59550
395	156025	61629875	19,8746	7,3372	1240,9	122542	2,59660
396	156816	62099136	19,8997	7,3434	1244,1	123163	2,59770
397	157609	62570773	19,9249	7,3496	1247,2	123786	2,59879
398	158404	63044792	19,9499	7,3558	1250,4	124410	2,59988
399	159201	63521199	19,9750	7,3619	1253,5	125036	2,60097
400	160000	64000000	20,0000	7,3681	1256,6	125664	2,60206

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	log n
401	160801	64481201	20,0250	7,3742	1259,8	126293	2,60314
402	161604	64964808	20,0499	7,3803	1262,9	126923	2,60423
403	162409	65450827	20,0749	7,3864	1266,1	127556	2,60531
404	163216	65939264	20,0998	7,3925	1269,2	128190	2,60638
405	164025	66430125	20,1246	7,3986	1272,3	128825	2,60746
406	164836	66923416	20,1494	7,4047	1275,5	129462	2,60853
407	165649	67419143	20,1742	7,4108	1278,6	130100	2,60959
408	166464	67917312	20,1990	7,4169	1281,8	130741	2,61066
409	167281	68417929	20,2237	7,4229	1284,9	131382	2,61172
410	168100	68921000	20,2485	7,4290	1288,1	132025	2,61278
411	168921	69426531	20,2731	7,4350	1291,2	132670	2,61384
412	169744	69934528	20,2978	7,4410	1294,3	133317	2,61490
413	170569	70444997	20,3224	7,4470	1297,5	133965	2,61595
414	171396	70957944	20,3470	7,4530	1300,6	134614	2,61700
415	172225	71473375	20,3715	7,4590	1303,8	135265	2,61805
416	173056	71991296	20,3961	7,4650	1306,9	135918	2,61909
417	173889	72511713	20,4206	7,4710	1310,0	136572	2,62014
418	174724	73034632	20,4450	7,4770	1313,2	137228	2,62118
419	175561	73560059	20,4695	7,4829	1316,3	137885	2,62221
420	176400	74088000	20,4939	7,4889	1319,5	138544	2,62325
421	177241	74618461	20,5183	7,4948	1322,6	139205	2,62428
422	178084	75151448	20,5426	7,5007	1325,8	139867	2,62531
423	178929	75686967	20,5670	7,5067	1328,9	140531	2,62634
424	179776	76225024	20,5913	7,5126	1332,0	141196	2,62737
425	180625	76765625	20,6155	7,5185	1335,2	141863	2,62839
426	181476	77308776	20,6398	7,5244	1338,3	142531	2,62941
427	182329	77854483	20,6640	7,5302	1341,5	143201	2,63043
428	183184	78402752	20,6882	7,5361	1344,6	143872	2,63144
429	184041	78953589	20,7123	7,5420	1347,7	144545	2,63246
430	184900	79507000	20,7364	7,5478	1350,9	145220	2,63347
431	185761	80062991	20,7605	7,5537	1354,0	145896	2,63448
432	186624	80621568	20,7846	7,5595	1357,2	146574	2,63548
433	187489	81182737	20,8087	7,5654	1360,3	147254	2,63649
434	188356	81746504	20,8327	7,5712	1363,5	147934	2,63749
435	189225	82312875	20 8567	7,5770	1366,6	148617	2,63849
436	190096	82881856	20,8806	7,5828	1369,7	149301	2,63949
437	190969	83453453	20,9045	7,5886	1372,9	149987	2,64048
438	191844	84027672	20,9284	7,5944	1376,0	150674	2,64147
439	192721	84604519	20,9523	7,6001	1379,2	151363	2,64246
440	193600	85184000	20 9762	7,6059	1382,3	152053	2,64345
441	194481	85766121	21,0000	7,6117	1385,4	152745	2,64444
442	195364	86350888	21,0238	7,6174	1388,6	153439	2,64542
443	196249	86938307	21,0476	7,6232	1391,7	154134	2,64640
444	197136	87528384	21,0713	7,6289	1394,9	154830	2,64738
445	198025	88121125	21,0950	7,6346	1398,0	155528	2,64836
446	198916	88716536	21,1187	7,6403	1401,2	156228	2,64933
447	199809	89314623	21,1424	7,6460	1404,3	156930	2,65031
448	200704	89915392	21,1660	7,6517	1407,4	157633	2,65128
449	201601	90518849	21,1896	7,6574	1410,6	158337	2,65225
450	202500	91125000	21,2132	7,6631	1413,7	159043	2,65321

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	log n
451	203401	91733851	21,2368	7,6688	1416,9	159751	2,65418
452	204304	92345408	21,2603	7,6744	1420,0	160460	2,65514
453	205209	92959677	21,2838	7,6801	1423,1	161171	2,65610
454	206116	93576664	21,3073	7,6857	1426,3	161883	2,65706
455	207025	94196375	21,3307	7,6914	1429,4	162597	2,65801
456	207936	94818816	21,3542	7,6970	1432,6	163313	2,65896
457	208849	95442993	21,3776	7,7026	1435,7	164030	2,65992
458	209764	96071912	21,4009	7,7082	1438,8	164748	2,66087
459	210681	96702579	21,4243	7,7138	1442,0	165468	2,66181
460	211600	97336000	21,4476	7,7194	1445,1	166190	2,66276
461	212521	97972181	21,4709	7,7250	1448,3	166914	2,66370
462	213444	98611128	21,4942	7,7306	1451,4	167639	2,66464
463	214369	99252847	21,5174	7,7362	1454,6	168365	2,66558
464	215296	99897344	21,5407	7,7418	1457,7	169093	2,66652
465	216225	100544625	21,5639	7,7473	1460,8	169823	2,66745
466	217156	101194696	21,5870	7,7529	1464,0	170554	2,66839
467	218089	101847563	21,6102	7,7584	1467,1	171287	2,66932
468	219024	102503232	21,6333	7,7639	1470,3	172021	2,67025
469	219961	103161709	21,6564	7,7695	1473,4	172757	2,67117
470	220900	103823000	21,6795	7,7750	1476,5	173494	2,67210
471	221841	104487111	21,7025	7,7805	1479,7	174234	2,67302
472	222784	105154048	21,7256	7,7860	1482,8	174974	2,67394
473	223729	105823817	21,7486	7,7915	1486,0	175716	2,67486
474	224676	106496424	21,7715	7,7970	1489,1	176460	2,67578
475	225625	107171875	21,7945	7,8025	1492,3	177205	2,67669
476	226576	107850176	21,8174	7,8079	1495,4	177952	2,67761
477	227529	108531333	21,8403	7,8134	1498,5	178701	2,67852
478	228484	109215352	21,8632	7,8188	1501,7	179451	2,67943
479	229441	109902239	21,8861	7,8243	1504,8	180203	2,68034
480	230400	110592000	21,9089	7,8297	1508,0	180956	2,68124
481	231361	111284641	21,9317	7,8352	1511,1	181711	2,68215
482	232324	111980168	21,9545	7,8406	1514,2	182467	2,68305
483	233289	112678587	21,9773	7,8460	1517,4	183225	2,68395
484	234256	113379904	22,0000	7,8514	1520,5	183984	2,68485
485	235225	114084125	22,0227	7,8568	1523,7	184745	2,68574
486	236196	114791256	22,0454	7,8622	1526,8	185508	2,68664
487	237169	115501303	22,0681	7,8676	1530,0	186272	2,68753
488	238144	116214272	22,0907	7,8730	1533,1	187038	2,68842
489	239121	116930169	22,1133	7,8784	1536,2	187805	2,68931
490	240100	117649000	22,1359	7,8837	1539,4	188574	2,69020
491	241081	118370771	22,1585	7,8891	1542,5	189345	2,69108
492	242064	119095488	22,1811	7,8944	1545,7	190117	2,69197
493	243049	119823157	22,2036	7,8998	1548,8	190890	2,69285
494	244036	120553784	22,2261	7,9051	1551,9	191665	2,69373
495	245025	121287375	22,2486	7,9105	1555,1	192442	2,69461
496	246016	122023936	22,2711	7,9158	1558,2	193221	2,69548
497	247009	122763473	22,2935	7,9211	1561,4	194000	2,69636
498	248004	123505992	22,3159	7,9264	1564,5	194782	2,69723
499	249001	124251499	22,3383	7,9317	1567,7	195565	2,69810
500	250000	125000000	22,3607	7,9370	1570,8	196350	2,69897

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	log n
501	251001	125751501	22,3830	7,9423	1573,9	197136	2,69984
502	252004	126506008	22,4054	7,9476	1577,1	197923	2,70070
503	253009	127263527	22,4277	7,9528	1580,2	198713	2,70157
504	254016	128024064	22,4499	7,9581	1583,4	199504	2,70243
505	255025	128787625	22,4722	7,9634	1586,5	200296	2,70329
506	256036	129554216	22,4944	7,9686	1589,6	201090	2,70415
507	257049	130323843	22,5167	7,9739	1592,8	201886	2,70501
508	258064	131096512	22,5389	7,9791	1595,9	202683	2,70586
509	259081	131872229	22,5610	7,9843	1599,1	203482	2,70672
510	260100	132651000	22,5832	7,9896	1602,2	204282	2,70757
511	261121	133432831	22,6053	7,9948	1605,4	205084	2,70842
512	262144	134217728	22,6274	8,0000	1608,5	205887	2,70927
513	263169	135005697	22,6495	8,0052	1611,6	206692	2,71012
514	264196	135796744	22,6716	8,0104	1614,8	207499	2,71096
515	265225	136590875	22,6936	8,0156	1617,9	208307	2,71181
516	266256	137388096	22,7156	8,0208	1621,1	209117	2,71265
517	267289	138188413	22,7376	8,0260	1624,2	209928	2,71349
518	268324	138991832	22,7596	8,0311	1627,3	210741	2,71433
519	269361	139798359	22,7816	8,0363	1630,5	211556	2,71517
520	270400	140608000	22,8035	8,0415	1633,6	212372	2,71600
521	271441	141420761	22,8254	8,0466	1636,8	213189	2,71684
522	272484	142236648	22,8473	8,0517	1639,9	214008	2,71767
523	273529	143055667	22,8692	8,0569	1643,1	214829	2,71850
524	274576	143877824	22,8910	8,0620	1646,2	215651	2,71933
525	275625	144703125	22,9129	8,0651	1649,3	216475	2,72016
526	276676	145531576	22,9347	8,0723	1652,5	217301	2,72090
527	277729	146363183	22,9565	8,9774	1655,7	218128	2,72181
528	278784	147197952	22,9783	8,0825	1658,8	218956	2,72263
529	279841	148035889	23,0000	8,0876	1661,9	219787	2,72346
530	280900	148877000	23,0217	8,0927	1665,0	220618	2,72428
531	281961	149721291	23,0434	8,0978	1668,2	221452	2,72509
532	283024	150568768	23,0651	8,1028	1671,3	222287	2,72591
533	284089	151419437	23,0868	8,1079	1674,5	223123	2,72673
534	285156	152273304	23,1084	8,1130	1677,6	223961	2,72754
535	286225	153130375	23,1301	8,1180	1680,8	224801	2,72835
536	287296	153990656	23,1517	8,1231	1683,9	225642	2,72916
537	288369	154854153	23,1733	8,1281	1687,0	226484	2,72997
538	289444	155720872	23,1948	8,1332	1690,2	227329	2,73078
539	290521	156590819	23,2164	8,1382	1693,3	228175	2,73159
540	291600	157464000	23,2379	8,1433	1696,5	229022	2,73239
541	292681	158340421	23,2594	8,1483	1699,6	229871	2,73320
542	293764	159220088	23,2809	8,1533	1702,7	230722	2,73400
543	294849	160103007	23,3024	8,1583	1705,9	231574	2,73480
544	295936	160989184	23,3238	8,1633	1709,0	232428	2,73560
545	297025	161878625	23,3452	8,1683	1712,2	233283	2,73640
546	298116	162771336	23,3666	8,1733	1715,3	234140	2,73719
547	299209	163667323	23,3880	8,1783	1718,5	234998	2,73799
548	300304	164566592	23,4094	8,1833	1721,6	235858	2,73878
549	301401	165469149	23,4307	8,1882	1724,7	236720	2,73957
550	302500	166375000	23,4521	8,1932	1727,9	237583	2,74036

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	log n
551	303601	167284151	23,4734	8,1982	1731,0	238448	2,74115
552	304704	168196608	23,4947	8,2031	1734,2	239314	2,74194
553	305809	169112377	23,5160	8,2081	1737,3	240182	2,74273
554	306916	170031464	23,5372	8,2130	1740,4	241051	2,74351
555	308025	170953875	23,5584	8,2180	1743,6	241922	2,74429
556	309136	171879616	23,5797	8,2229	1746,7	242795	2,74507
557	310249	172808693	23,6008	8,2278	1749,9	243669	2,74586
558	311364	173741112	23,6220	8,2327	1753,0	244545	2,74663
559	312481	174676879	23,6432	8,2377	1756,2	245422	2,74741
560	313600	175616000	23,6643	8,2426	1759,3	246301	2,74819
561	314721	176558481	23,6854	8,2475	1762,4	247181	2,74896
562	315844	177504328	23,7065	8,2524	1765,6	248063	2,74974
563	316969	178453547	23,7276	8,2573	1768,7	248947	2,75051
564	318096	179406144	23,7487	8,2621	1771,9	249832	2,75128
565	319225	180362125	23,7697	8,2670	1775,0	250719	2,75205
566	320356	181321496	23,7908	8,2719	1778,1	251607	2,75282
567	321489	182284263	23,8118	8,2768	1781,3	252497	2,75358
568	322624	183250432	23,8328	8,2816	1784,4	253388	2,75435
569	323761	184220009	23,8537	8,2865	1787,6	254281	2,75511
570	324900	185193000	23,8747	8,2913	1790,7	255176	2,75587
571	326041	186169411	23,8956	8,2962	1793,8	256072	2,75664
572	327184	187149248	23,9165	8,3010	1797,0	256970	2,75740
573	328329	188132517	23,9374	8,3059	1800,1	257869	2,75815
574	329476	189119224	23,9583	8,3107	1803,3	258770	2,75891
575	330625	190109375	23,9792	8,3155	1806,4	259672	2,75967
576	331776	191102976	24,0000	8,3203	1809,6	260576	2,76042
577	332929	192100033	24,0208	8,3251	1812,7	261482	2,76118
578	334084	193100552	24,0416	8,3300	1815,8	262389	2,76193
579	335241	194104539	24,0624	8,3348	1819,0	263298	2,76268
580	336400	195112000	24,0832	8,3396	1822,1	264208	2,76343
581	337561	196122941	24,1039	8,3443	1825,3	264120	2,76418
582	338724	197137368	24,1247	8,3491	1828,4	266033	2,76492
583	339889	193155287	24,1454	8,3539	1831,6	266948	2,76567
584	341056	199176704	24,1661	8,3587	1834,7	267865	2,76641
585	342225	200201625	24,1868	8,3634	1837,8	268783	2,76716
586	343396	201230056	24,2074	8,3682	1841,0	269703	2,76790
587	344569	202262003	24,2281	8,3730	1844,1	270624	2,76864
588	345744	203297472	24,2487	8,3777	1847,4	271547	2,76938
589	346921	204336469	24,2693	8,3825	1850,4	272471	2,77012
590	348100	205379000	24,2899	8,3872	1853,5	273397	2,77085
591	349281	206425071	24,3105	8,3919	1856,7	274325	2,77159
592	350464	207274688	24,3311	8,3967	1859,8	275254	2,77232
593	351649	208527857	24,3516	8,4014	1863,0	276184	2,77305
594	352836	209584584	24,3721	8,4061	1866,1	277117	2,77379
595	354025	210644875	24,3926	8,4108	1869,2	278051	2,77452
596	355216	211708736	24,4131	8,4155	1872,4	278986	2,77525
597	356409	212776173	24,4336	8,4202	1875,5	279923	2,77597
598	357604	213847192	24,4540	8,4249	1878,7	280862	2,77670
599	358801	214921799	24,4745	8,4296	1881,8	281802	2,77743
600	360000	216000000	24,4949	8,4343	1885,0	282743	2,77815

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	log n
601	361201	217081801	24,5153	8,4390	1888,1	283687	2,77887
602	362404	218167208	24,5537	8,4437	1891,2	284631	2,77960
603	363609	219256227	24,5561	8,4484	1894,4	285578	2,78032
604	364816	220348864	24,5764	8,4530	1897,5	286526	2,78104
605	366025	221445125	24,5967	8,4577	1900,7	287475	2,78176
606	367236	222545016	24,6171	8,4623	1903,8	288426	2,78247
607	368449	223648543	24,6374	8,4670	1906,9	289379	2,78319
608	369664	224755712	24,6577	8,4716	1910,1	290333	2,78390
609	370881	225866529	24,6779	8,4763	1913,2	291289	2,78462
610	372100	226981000	24,6982	8,4809	1916,4	292247	2,78533
611	373321	228099131	24,7184	8,4856	1919,5	293206	2,78604
612	374544	229220928	24,7386	8,4902	1922,7	294166	2,78675
613	375769	230346397	24,7588	8,4948	1925,8	295123	2,78746
614	376996	231375544	24,7790	8,4994	1928,0	296092	2,78817
615	378225	232608375	24,7992	8,5040	1932,1	297057	2,78888
616	379456	233744896	24,8193	8,5086	1935,2	298024	2,78958
617	380689	234885113	24,8395	8,5132	1938,4	298992	2,79029
618	381924	236029032	24,8596	8,5178	1941,5	299962	2,79099
619	383161	237176659	24,8797	8,5224	1944,6	300934	2,79169
620	384400	238328000	24,8998	8,5270	1947,8	301907	2,79230
621	385641	239483061	24,9199	8,5316	1950,9	302882	2,79309
622	386884	240641848	24,9399	8,5362	1954,1	303858	2,79379
623	388129	241804367	24,9600	8,5408	1957,2	304836	2,79449
624	389376	242970624	24,9800	8,5453	1960,4	305815	2,79518
625	390625	244140625	25,0000	8,5499	1963,5	306796	2,79588
626	391876	245314376	25,0200	8,5544	1966,6	307779	2,79657
627	393129	246491883	25,0400	8,5590	1969,8	308763	2,79727
628	394384	247673152	25,0599	8,5635	1972,9	309748	2,79796
629	395641	248858189	25,0799	8,5681	1976,1	310736	2,79865
630	396900	250047000	25,0998	8,5726	1979,2	311725	2,79934
631	398161	251239591	25,1197	8,5772	1982,3	312715	2,80003
632	399424	252435968	25,1368	8,5817	1985,5	313707	2,80072
633	400689	253636137	25,1595	8,5862	1988,6	314700	2,80140
634	401956	254840104	25,1794	8,5907	1991,8	315696	2,80209
635	403225	256047875	25,1992	8,5952	1994,9	316692	2,80277
636	404496	257259456	25,2190	8,5997	1998,1	317690	2,80346
637	405769	258474853	25,2389	8,6043	2001,2	318690	2,80414
638	407044	259694072	25,2587	8,6088	2004,3	319692	2,80482
639	408321	260917119	25,2784	8,6132	2007,5	320695	2,80550
640	409600	262144000	25,2982	8,6177	2010,6	321699	2,80618
641	410881	263374721	25,3180	8,6222	2013,8	322705	2,80686
642	412164	264609288	25,3377	8,6267	2016,9	323713	2,80754
643	413449	265847707	25,3574	8,6312	2020,0	324722	2,80821
644	414736	267089984	25,3772	8,6357	2023,2	325733	2,80889
645	416025	268336125	25,3969	8,6401	2026,3	326745	2,80956
646	417316	269586136	25,4165	8,6446	2029,5	327759	2,81023
647	418609	270840023	25,4362	8,6490	2032,6	328775	2,81090
648	419904	272097792	25,4558	8,6535	2035,8	329792	2,81158
649	421201	273359449	25,4755	8,6579	2038,9	330810	2,81224
650	422500	274625000	25,4951	8,6624	2042,0	331831	2,81291

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	log n
651	423801	275894451	25,5147	8,6668	2045,2	332853	2,81358
652	425104	277167808	25,5343	8,6713	2048,3	333876	2,81425
653	426409	278445077	25,5539	8,6757	2051,5	334901	2,81491
654	427716	279726264	25,5734	8,6801	2054,6	335927	2,81558
655	429025	281011375	25,5930	8,6845	2057,7	336955	2,81624
656	430336	282300416	25,6125	8,6890	2060,9	337985	2,81690
657	431649	283593393	25,6320	8,6934	2064,0	339016	2,81757
658	432964	284890312	25,6515	8,6978	2067,2	340049	2,81823
659	434281	286191179	25,6710	8,7022	2070,3	341083	2,81889
660	435600	287496000	25,6905	8,7066	2073,5	342119	2,81954
661	436921	288804781	25,7099	8,7110	2076,6	343157	2,82020
662	438244	290117528	25,7294	8,7154	2079,7	344196	2,82086
663	439569	291434247	25,7488	8,7198	2082,9	345237	2,82151
664	440896	292754944	25,7682	8,7241	2086,0	346279	2,82217
665	442225	294079625	25,7876	8,7285	2089,2	347323	2,82282
666	443556	295408296	25,8070	8,7329	2092,3	348368	2,82347
667	444889	297640963	25,8263	8,7373	2095,4	349415	2,82413
668	446224	298077632	25,8457	8,7416	2098,6	350464	2,82478
669	447561	299418309	25,8650	8,7460	2101,7	351514	2,82543
670	448900	300763000	25,8844	8,7503	2104,9	352565	2,82607
671	450241	302111711	25,9037	8,7547	2108,0	353618	2,82672
672	451584	303464448	25,9230	8,7590	2111,2	354673	2,82737
673	452929	304821217	25,9422	8,7634	2114,3	355730	2,82802
674	454276	306182024	25,9615	8,7677	2117,4	356788	2,82866
675	455625	307546875	25,9808	8,7721	2120,6	357847	2,82930
676	456976	308915776	26,0000	8,7764	2123,7	358908	2,82995
677	458329	310288733	26,0192	8,7807	2126,9	359971	2,83059
678	459684	311665752	26,0384	8,7850	2130,0	361035	2,83123
679	461041	313046839	26,0576	8,7893	2133,1	362101	2,83187
680	462400	314432000	26,0768	8,7937	2136,3	363168	2,83251
681	463761	315821241	26,0960	8,7980	2139,4	364237	2,83315
682	465124	317214568	26,1151	8,8023	2142,6	365308	2,83378
683	466489	318611987	26,1343	8,8066	2145,7	366380	2,83442
684	467856	320013504	26,1534	8,8109	2148,8	367453	2,83506
685	469225	321419125	26,1725	8,8152	2152,0	368528	2,83569
686	470596	322828856	26,1916	8,8194	2155,1	369605	2,83632
687	471969	324242703	26,2107	8,8237	2158,3	370684	2,83696
688	473344	325660672	26,2298	8,8280	2161,4	371764	2,83759
689	474721	327082769	26,2488	8,8323	2164,6	372845	2,83822
690	476100	328509000	26,2679	8,8366	2167,7	373928	2,83885
691	477481	329939371	26,2869	8,8408	2170,8	375013	2,83948
692	478864	331373888	26,3059	8,8451	2174,0	376099	2,84011
693	480249	332812557	26,3249	8,8493	2177,1	377187	2,84073
694	481636	334255384	26,3439	8,8536	2180,3	378276	2,84136
695	483025	335702375	26,3629	8,8578	2183,4	379367	2,84198
696	484416	337153536	26,3818	8,8612	2186,5	380459	2,84261
697	485809	338608873	26,4008	8,8663	2189,7	381553	2,84323
698	487204	340068392	26,4197	8,8706	2192,8	382649	2,84386
699	488601	341532099	26,4386	8,8748	2196,0	383746	2,84448
700	490000	343000000	26,4575	8,8790	2199,1	384845	2,84510

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	log n
701	491401	344472101	26,4764	8,8833	2202,3	385945	2,84572
702	492804	345948408	26,4953	8,8875	2205,4	387047	2,84634
703	494209	347428927	26,5141	8,8917	2208,5	388151	2,84696
704	495616	348913664	26,5330	8,8959	2211,7	389256	2,84757
705	497025	350402625	26,5518	8,9001	2214,8	390363	2,84819
706	498436	351895816	26,5707	8,9043	2218,0	391471	2,84880
707	499849	353393243	26,5895	8,9085	2221,1	392580	2,84942
708	501264	354894912	26,6083	8,9127	2224,2	393692	2,85003
709	502681	356400829	26,6271	8,9169	2227,4	394805	2,85065
710	504100	357911000	26,6458	8,9211	2230,5	395919	2,85126
711	505521	359425431	26,6646	8,9253	2233,7	397035	2,85187
712	506944	360944128	26,6833	8,9295	2236,8	398153	2,85248
713	508369	362467097	26,7021	8,9337	2240,0	399272	2,85309
714	509796	363994344	26,7208	8,9378	2243,1	400393	2,85370
715	511225	365525875	26,7395	8,9420	2246,2	401515	2,85431
716	512656	367061696	26,7582	8,9462	2249,4	402639	2,85491
717	515089	368601813	26,7769	8,9503	2252,5	403765	2,85552
718	515524	370146232	26,7955	8,9545	2255,7	404892	2,85612
719	516961	371694959	26,8142	8,9587	2258,8	406020	2,85673
720	518400	373248000	26,8328	8,9628	2261,9	407150	2,85733
721	519841	374805361	26,8514	8,9670	2265,1	408282	2,85794
722	521284	376367048	26,8701	8,9711	2268,2	409415	2,85854
723	522729	377933067	26,8887	8,9752	2271,4	410550	2,85914
724	524176	379503424	26,9072	8,9794	2274,5	411687	2,85974
725	525625	381078125	26,9258	8,9835	2277,7	412825	2,86034
726	527076	382657176	26,9444	8,9876	2280,8	413965	2,86094
727	528529	384240583	26,9629	8,9918	2283,9	415106	2,86153
728	529984	385828352	26,9815	8,9959	2287,1	416248	2,86213
729	531441	387420489	27,0000	9,0000	2290,2	417393	2,86273
730	532900	389017000	27,0185	9,0041	2293,4	418539	2,86332
731	534361	390617891	27,0370	9,0082	2296,5	419686	2,86293
732	535824	392223168	27,0555	9,0123	2299,6	420835	2,86451
733	537289	393832837	27,0740	9,0164	2302,8	421986	2,86510
734	538756	395446904	27,0924	9,0205	2305,9	423138	2,86570
735	540225	397065375	27,1109	9,0246	2309,1	424293	2,86629
736	541696	398688256	27,1293	9,0287	2312,2	425447	2,86688
737	543169	400315553	27,1477	9,0328	2315,4	426604	2,86747
738	544644	401947272	27,1662	9,0369	2318,5	427762	2,86806
739	546121	403583419	27,1846	9,0410	2321,6	428922	2,86864
740	547600	405224000	27,2029	9,0450	2324,8	430084	2,86923
741	549081	406869021	27,2213	9,0491	2327,9	431247	2,86982
742	550564	408518488	27,2397	9,0532	2331,1	432412	2,87040
743	552049	410172407	27,2580	9,0572	2334,2	433578	2,87090
744	553536	411830784	27,2764	9,0613	2337,3	434746	2,87157
745	555025	413493625	27,2947	9,0654	2340,5	435916	2,87216
746	556516	415160936	27,3130	9,0694	2343,6	437087	2,87274
747	558009	416832723	27,3313	9,0735	2346,8	438259	2,87332
748	559504	418508992	27,3496	9,0775	2349,9	439433	2,87390
749	561001	420189749	27,3679	9,0816	2353,1	440609	2,87448
750	562500	421875000	27,3861	9,0856	2356,2	441786	2,87506

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	log n
751	564001	423564751	27,4044	9,0896	2359,3	442965	2,87564
752	565504	425259008	27,4226	9,0937	2362,5	444146	2,87622
753	567009	426957777	27,4408	9,0977	2365,6	445328	2,87679
754	568516	428661064	27,4591	9,1017	2368,8	446511	2,87737
755	570025	430368875	27,4773	9,1057	2371,9	447697	2,87795
756	571536	432081216	27,4955	9,1098	2375,0	448883	2,87852
757	573049	433798093	27,5136	9,1138	2378,2	450072	2,87910
758	574564	435519512	27,5318	9,1178	2381,3	451262	2,87967
759	576081	437245479	27,5500	9,1218	2384,5	452453	2,88024
760	577600	438976000	27,5681	9,1258	2387,6	453646	2,88081
761	579121	440711081	27,5862	9,1298	2390,8	454841	2,88138
762	580644	442450728	27,6043	9,1338	2393,9	456037	2,88195
763	582169	444194947	27,6225	9,1378	2397,0	457234	2,88252
764	583696	445943744	27,6405	9,1418	2400,2	458434	2,88309
765	585225	447697125	27,6586	9,1458	2403,3	459635	2,88366
766	586756	449455096	27,6767	9,1498	2406,5	460837	2,88423
767	588289	451217663	27,6948	9,1537	2409,6	462041	2,88480
768	589824	452984832	27,7128	9,1577	2412,7	463247	2,88536
769	591361	454756609	27,7308	9,1617	2415,9	464454	2,88593
770	592900	456533000	27,7489	9,1657	2419,0	465663	2,88649
771	594441	458314011	27,7669	9,1696	2422,2	466873	2,88705
772	595984	460099648	27,7849	9,1736	2425,3	468085	2,88762
773	597529	461889917	27,8029	9,1775	2428,5	469298	2,88818
774	599076	463684824	27,8209	9,1815	2431,6	470513	2,88874
775	600625	465484375	27,8388	9,1855	2434,7	471730	2,88930
776	602176	467288576	27,8568	9,1894	2437,9	472948	2,88986
777	603729	469097433	27,8747	9,1933	2441,0	474168	2,89042
778	605284	470910952	27,8927	9,1973	2444,2	475389	2,89098
779	606841	472729139	27,9106	9,2012	2447,3	476612	2,89154
780	608400	474552000	27,9285	9,2052	2450,4	477836	2,89209
781	609961	476379541	27,9464	9,2091	2453,6	479062	2,89265
782	611524	478211768	27,9643	9,2130	2456,7	480290	2,89321
783	613089	480048687	27,9821	9,2170	2459,9	481519	2,89376
784	614656	481890304	28,0000	9,2209	2463,0	482750	2,89432
785	616225	483736625	28,0179	9,2248	2466,2	483982	2,89487
786	617796	485587656	28,0357	9,2287	2469,3	485216	2,89542
787	619369	487443403	28,0535	9,2326	2472,4	486451	2,89597
788	620944	489303872	28,0713	9,2365	2475,6	487688	2,89653
789	622521	491169069	28,0891	9,2404	2478,7	488927	2,89708
790	624100	493039000	28,1069	9,2443	2481,9	490167	2,89763
791	625681	494913671	28,1247	9,2482	2485,0	491409	2,89818
792	627264	496793088	28,1425	9,2521	2488,1	492652	2,89873
793	628849	498677257	28,1603	9,2560	2491,3	493897	2,89927
794	630436	500566184	28,1780	9,2599	2494,4	495143	2,89982
795	632025	502459875	28,1957	9,2638	2497,6	496391	2,90037
796	633616	504358336	28,2135	9,2677	2500,7	497641	2,90091
797	635209	506261573	28,2312	9,2716	2503,8	498892	2,90146
798	636804	508169592	28,2489	9,2754	2507,0	500145	2,90200
799	638401	510082399	28,2666	9,2793	2510,1	501399	2,90255
800	640000	512000000	28,2832	9,2832	2513,3	502655	2,90309

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	log n
801	641601	513922401	28,3019	9,2870	2516,4	503912	2,90363
802	643204	515849608	28,3196	9,2909	2519,6	505171	2,90417
803	644809	517781627	28,3373	9,2948	2522,7	506432	2,90472
804	646416	519718464	28,3549	9,2986	2525,8	507694	2,90526
805	648025	521660125	28,3725	9,3025	2529,0	508958	2,90580
806	649636	523606616	28,3901	9,3063	2532,1	510223	2,90634
807	651249	525557943	28,4077	9,3102	2535,3	511490	2,90687
808	652864	527514112	28,4253	9,3140	2538,4	512758	2,90741
809	654481	529475129	28,4429	9,3179	2541,5	514028	2,90795
810	656100	531441000	28,4605	9,3217	2544,7	513500	2,90849
811	657721	533411731	28,4781	9,3255	2547,8	516573	2,90902
812	659344	535387328	28,4956	9,3294	2551,0	517848	2,90956
813	660969	537367797	28,5132	9,3332	2554,1	519124	2,91009
814	662596	539353144	28,5307	9,3370	2557,3	520402	2,91062
815	664225	541343375	28,5482	9,3408	2560,4	521681	2,91116
816	665856	543338496	28,5657	9,3447	2563,5	522962	2,91169
817	667489	545338513	28,5832	9,3485	2566,7	524245	2,91222
818	669124	547343432	28,6007	9,3523	2569,8	525529	2,91275
819	670761	549353259	28,6182	9,3561	2573,0	526814	2,91328
820	672400	551368000	28,6356	9,3599	2576,1	528102	2,91381
821	674041	553387661	28,6531	9,3637	2579,2	529391	2,91434
822	675684	555412248	28,6705	9,3675	2582,4	530681	2,91487
823	677329	557441767	28,6880	9,3713	2585,5	531973	2,91540
824	678976	559476224	28,7054	9,3751	2588,7	533267	2,91593
825	680625	561515625	28,7228	9,3789	2591,8	534562	2,91645
826	682276	563559976	28,7402	9,3827	2595,0	535858	2,91698
827	683929	565609283	28,7576	9,3865	2598,1	537157	2,91751
828	685584	567663552	28,7750	9,3902	2601,2	538456	2,91803
829	687241	569722789	28,7824	9,3940	2604,4	539758	2,91855
830	688900	571787000	28,8097	9,3975	2607,5	541061	2,91908
831	690561	573856191	28,8271	9,4016	2610,7	542365	2,91960
832	692224	575930368	28,8444	9,4053	2613,8	543671	2,92012
833	693889	578009537	28,8617	9,4091	2616,9	544979	2,92065
834	695556	580093704	28,8791	9,4129	2620,1	546288	2,92117
835	697225	582182875	28,8964	9,4166	2623,2	547599	2,92169
836	698896	584277056	28,9137	9,4204	2626,4	548912	2,92221
837	700569	586376253	28,9310	9,4241	2629,5	550226	2,92273
838	702244	588480472	28,9482	9,4279	2632,7	551541	2,92324
839	703921	590589719	28,9655	9,4316	2635,8	552858	2,92376
840	705600	592704000	28,9828	9,4354	2638,9	554177	2,92428
841	707281	594823321	29,0000	9,4391	2642,1	555497	2,92480
842	708964	596947688	29,0172	9,4429	2645,2	556819	2,92531
843	710649	599077107	29,0345	9,4466	2648,4	558142	2,92583
844	712336	601211584	29,0517	9,4503	2651,5	559467	2,92634
845	714025	603351125	29,0689	9,4541	2654,6	560794	2,92686
846	715716	605495736	29,0861	9,4578	2657,8	562122	2,92737
847	717409	607645423	29,1033	9,4615	2660,9	563452	2,92788
848	719104	609800192	29,1204	9,4652	2664,1	564783	2,92840
849	720801	611960049	29,1376	9,4690	2667,2	566116	2,92891
850	722500	614125000	29,1548	9,4727	2670,4	567450	2,92942

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	log n
851	724201	616295051	29,1719	9,4764	2673,5	568786	2,92993
852	725904	618470208	29,1890	9,4801	2676,6	570124	2,93044
853	727609	620650477	29,2062	9,4838	2679,8	571463	2,93095
854	729316	622835864	29,2233	9,4875	2682,9	572803	2,93146
855	731025	625026375	29,2404	9,4912	2686,1	574146	2,93197
856	732736	627222016	29,2575	9,4949	2689,2	575490	2,93247
857	734449	629422793	29,2746	9,4986	2692,3	576835	2,93298
858	736164	631628712	29,2916	9,5023	2695,5	578182	2,93349
859	737881	633839779	29,3087	9,5060	2698,6	579530	2,93399
860	739600	636056000	29,3258	9,5097	2701,8	580880	2,93450
861	741321	638277381	29,3428	9,5134	2704,9	582232	2,93500
862	743044	640503928	29,3598	9,5171	2708,1	583585	2,93551
863	744769	642735647	29,3769	9,5207	2711,2	584940	2,93601
864	746496	644972544	29,3939	9,5244	2714,3	586297	2,93651
865	748225	647214625	29,4109	9,5281	2717,5	587655	2,93702
866	749956	649461896	29,4279	9,5317	2720,6	589014	2,93752
867	751689	651714363	29,5354	9,5354	2723,8	590375	2,93802
868	753424	653972032	29,4618	9,5391	2726,9	591738	2,93852
869	755161	656234909	29,4788	9,5427	2730,0	593102	2,93902
870	756900	658503000	29,4958	9,5464	2733,2	594468	2,93952
871	758641	660776311	29,5127	9,5501	2736,3	595835	2,94002
872	760384	663054848	29,5296	9,5537	2739,5	597204	2,94052
873	762129	665338617	29,5466	9,5574	2742,6	598575	2,94101
874	763876	667627624	29,5635	9,5610	2745,8	599947	2,94151
875	765625	669921875	29,5804	9,5647	2748,9	601320	2,94201
876	767376	672221376	29,5973	9,5683	2752,0	602696	2,94250
877	769129	674526133	29,6142	9,5719	2755,2	604073	2,94300
878	770884	676836152	29,6311	9,5756	2758,3	605451	2,94349
879	772641	679151439	29,6479	9,5792	2761,5	606831	2,94399
880	774400	681472000	29,6648	9,5828	2764,6	608212	2,94448
881	776161	683797841	29,6816	9,5865	2767,7	609595	2,94498
882	777924	686128968	29,6985	9,5901	2770,9	610980	2,94547
883	779689	688465387	29,7153	9,5937	2774,0	612366	2,94596
884	781456	690807104	29,7321	9,5973	2777,2	613754	2,94645
885	783225	693154125	29,7489	9,6010	2780,3	615143	2,94694
886	784996	695506456	29,7658	9,6046	2783,5	616534	2,94743
887	786769	697864103	29,7825	9,6082	2786,6	617927	2,94792
888	788544	700227072	29,7993	9,6118	2789,7	619321	2,94841
889	790321	702595369	29,8161	9,6154	2792,9	620717	2,94890
890	792100	704969000	29,8329	9,6190	2796,0	622114	2,94939
891	793881	707347971	29,8496	9,6226	2799,2	623513	2,94988
892	795664	709732288	29,8664	9,6262	2802,3	624913	2,95036
893	797449	712121957	29,8831	9,6298	2805,4	626315	2,95085
894	799236	714516984	29,8998	9,6334	2808,6	627718	2,95134
895	801025	716917375	29,9166	9,6370	2811,7	629124	2,95182
896	802816	719323136	29,9333	9,6406	2814,9	630530	2,95231
897	804609	721734273	29,9500	9,6442	2818,0	631948	2,95279
898	806404	724150792	29,9666	9,6477	2821,2	633348	2,95328
899	808201	726572699	29,9833	9,6513	2824,3	634760	2,95376
900	810000	729000000	30,0000	9,6549	2827,4	636173	2,95424

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	log n
901	811801	731432701	30,0167	9,6585	2830,6	637587	2,95472
902	813604	733870808	30,0333	9,6620	2833,7	639003	2,95521
903	815409	736314327	30,0500	9,6656	2836,9	640421	2,95569
904	817216	738763264	30,0666	9,6692	2840,0	641840	2,95617
905	819025	741217625	30,0832	9,6727	2843,1	643261	2,95665
906	820836	743677416	30,0998	9,6763	2846,3	644683	2,95713
907	822649	746142643	30,1164	9,6799	2859,4	646107	2,95761
908	824464	748613312	30,1330	9,6834	2852,6	647533	2,95809
909	826281	751089429	30,1496	9,6870	2855,7	648960	2,95856
910	828100	753571000	30,1662	9,6905	2858,8	650388	2,95904
911	829921	756058031	30,1828	9,6941	2862,0	651818	2,95952
912	831744	758550528	30,1993	9,6976	2865,1	653250	2,95999
913	833569	761048497	30,2159	9,7012	2868,3	654684	2,96047
914	835396	763551944	30,2324	9,7047	2871,4	656118	2,96095
915	837225	766060875	30,2490	9,7082	2874,6	657555	2,96142
916	839056	768575296	30,2655	9,7118	2877,7	658993	2,96190
917	840889	771095213	30,2820	9,7153	2880,8	660433	2,96237
918	842724	773620632	30,2985	9,7188	2884,0	661874	2,96284
919	844561	776151559	30,3150	9,7224	2887,1	663317	2,96332
920	846400	778688000	30,3315	9,7259	2890,3	664761	2,96379
921	848241	781229961	30,3480	9,7294	2893,4	666207	2,96426
922	850084	783777448	30,3645	9,7329	2896,5	667654	2,96473
923	851929	786330467	30,3809	9,7364	2899,7	669103	2,96520
924	853776	788889024	30,3974	9,7400	2902,8	670554	2,96567
925	855625	791453125	30,4138	9,7435	2906,0	672006	2,96614
926	857476	794022776	30,4302	9,7470	2909,1	673460	2,96661
927	859329	796597983	30,4467	9,7505	2912,3	674915	2,96708
928	861184	799178752	30,4631	9,7540	2915,4	676372	2,96755
929	863041	801765089	30,4795	9,7575	2918,5	677831	2,96802
930	864900	804357000	30,4959	9,7610	2921,7	679291	2,96848
931	866761	806954491	30,5123	9,7645	2924,8	680752	2,96895
932	868624	809557568	30,5287	9,7680	2928,0	682216	2,96942
933	870489	812166237	30,5450	9,7715	2931,1	683680	2,96988
934	872356	814780504	30,5614	9,7750	2934,2	685147	2,97035
935	874225	817400375	30,5778	9,7785	2937,4	686615	2,97081
936	876096	820025856	30,5941	9,7819	2940,5	688084	2,97128
937	877969	822656953	30,6105	9,7854	2943,7	689555	2,97174
938	879844	825293672	30,6268	9,7889	2946,8	691028	2,97220
939	881721	827936019	30,6431	9,7924	2950,0	692502	2,97267
940	883600	830584000	30,6594	9,7959	2953,1	693978	2,97313
941	885481	833237621	30,6757	9,7993	2956,2	695455	2,97359
942	887364	835986888	30,6920	9,8028	2959,4	696934	2,97405
943	889249	838561807	30,7083	9,8063	2962,5	698415	2,97451
944	891136	841232384	30,7246	9,8097	2965,7	699897	2,97497
945	893025	843908625	30,7409	9,8132	2968,8	701380	2,97543
946	894916	846590536	30,7571	9,8167	2971,9	702865	2,97589
947	896809	849278123	30,7734	9,8201	2975,1	704352	2,97635
948	898704	851971392	30,7896	9,8236	2978,2	705840	2,97681
949	900601	854670349	30,8058	9,8270	2981,4	707330	2,97727
950	902500	857375000	30,8221	9,8305	2984,5	708822	2,97772

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	log n
951	904401	860085351	30,8383	9,8339	2987,7	710315	2,97818
952	906304	862801408	30,8545	9,8374	2990,8	711809	2,97864
953	908209	865523177	30,8707	9,8408	2993,9	713306	2,97909
954	910116	868250664	30,8869	9,8443	2997,1	714803	2,97955
955	912025	870983875	30,9031	9,8477	3000,2	716303	2,98000
956	913936	873722816	30,9192	9,8511	3003,4	717804	2,98046
957	915849	876467493	30,9354	9,8546	3006,5	719306	2,98091
958	917764	879217912	30,9516	9,8580	3009,6	720810	2,98137
959	919681	881974079	30,9677	9,8614	3012,8	722316	2,98182
960	921600	884736000	30,9839	9,8648	3015,9	723823	2,98227
961	923521	887503681	31,0000	9,8683	3019,1	725332	2,98272
962	925444	890277128	31,0161	9,8717	3022,2	726842	2,98318
963	927369	893056347	31,0322	9,8751	3025,4	728354	2,98363
964	929296	895841344	31,0483	9,8785	3028,5	729867	2,98408
965	931225	898632125	31,0644	9,8819	3031,6	731382	2,98453
966	933156	901428696	31,0805	9,8854	3034,8	732899	2,98498
967	935089	904231063	31,0966	9,8888	3037,9	734417	2,98543
968	937024	907039232	31,1127	9,8922	3041,1	735937	2,98588
969	938961	909853209	31,1288	9,8956	3044,2	737458	2,98532
970	940900	912673000	31,1448	9,8990	3047,3	738981	2,98677
971	942841	915498611	31,1609	9,9024	3050,5	740506	2,98722
972	944784	918330048	31,1769	9,9058	3053,6	742032	2,98767
973	946729	921167317	31,1929	9,9092	3056,8	743559	2,98811
974	948676	924010424	31,2090	9,9126	3059,9	745088	2,98856
975	950625	926859375	31,2250	9,9160	3063,1	746619	2,98900
976	952576	929714176	31,2410	9,9194	3066,2	748151	2,98945
977	954529	932574833	31,2570	9,9227	3069,3	749685	2,98989
978	956484	935441352	31,2730	9,9261	3072,5	751221	2,99034
979	958441	938313739	31,2890	9,9295	3075,6	752758	2,99078
980	960400	941192000	31,3050	9,9329	3078,8	754296	2,99123
981	962361	944076141	31,3209	9,9363	3081,9	755837	2,99167
982	964324	946966168	31,3369	9,9396	3085,0	757378	2,99211
983	966289	949862087	31,3528	9,9430	3088,2	758922	2,99255
984	968256	952763904	31,3688	9,9464	3091,3	760466	2,99300
985	970225	955671625	31,3847	9,9497	3094,5	762013	2,99344
986	972196	958585256	31,4006	9,9531	3097,6	763561	2,99388
987	974169	961504803	31,4166	9,9565	3100,8	765111	2,99432
988	976144	964430272	31,4325	9,9598	3103,9	766662	2,99476
989	978121	967361669	31,4484	9,9632	3107,0	768214	2,99520
990	980100	970299000	31,4643	9,9666	3110,2	769769	2,99564
991	982081	973242271	31,4802	9,9699	3113,3	771325	2,99607
992	984064	976191488	31,4960	9,9733	3116,5	772882	2,99651
993	986049	979146657	31,5119	9,9766	3119,6	774441	2,99695
994	988036	982107784	31,5278	9,9800	3122,7	776002	2,99739
995	990025	985074875	31,5436	9,9833	3125,9	777564	2,99782
996	992016	988047936	31,5595	9,9866	3129,0	779128	2,99826
997	994009	991026973	31,5753	9,9900	3132,2	780693	2,99870
998	996004	994011992	31,5911	9,9933	3135,3	782260	2,99913
999	998001	997002999	31,6070	9,9967	3138,5	783828	2,99957
1000	1000000	1000000000	31,6228	10,0000	3141,6	785398	3,00000

Funciones trigonométricas

Grados	SENO 0′	10′	20′	30′	40′	50′	60′	
0	0,00000	0,00291	0,00582	0,00873	0,01164	0,01454	0,01745	89
1	0,01745	0,02036	0,02327	0,02618	0,02908	0,03199	0,03490	88
2	0,03490	0,03781	0,04071	0,04362	0,04653	0,04943	0,05234	87
3	0,05234	0,05524	0,05814	0,06105	0,06395	0,06685	0,06976	86
4	0,06976	0,07266	0,07556	0,07846	0,08136	0,08426	0,08716	85
5	0,08716	0,09005	0,09295	0,09585	0,09874	0,10164	0,10453	84
6	0,10453	0,10742	0,11031	0,11320	0,11609	0,11898	0,12187	83
7	0,12187	0,12476	0,12764	0,13053	0,13341	0,13629	0,13917	82
8	0,13917	0,14205	0,14493	0,14781	0,15069	0,15356	0,15643	81
9	0,15643	0,15931	0,16218	0,16505	0,16792	0,17078	0,17365	80
10	0,17365	0,17651	0,17937	0,18224	0,18509	0,18795	0,19081	79
11	0,19081	0,19366	0,19652	0,19937	0,20222	0,20507	0,20791	78
12	0,20791	0,21076	0,21360	0,21644	0,21928	0,22212	0,22495	77
13	0,22495	0,22778	0,23062	0,23345	0,23627	0,23910	0,24192	76
14	0,24192	0,24474	0,24756	0,25038	0,25320	0,25601	0,25882	75
15	0,25882	0,26163	0,26443	0,26724	0,27004	0,27284	0,27564	74
16	0,27564	0,27843	0,28123	0,28402	0,28680	0,28959	0,29237	73
17	0,29237	0,29515	0,29793	0,30071	0,30348	0,30625	0,30902	72
18	0,30902	0,31178	0,31454	0,31730	0,32006	0,32282	0,32557	71
19	0,32557	0,32832	0,33106	0,33381	0,33655	0,33929	0,34202	70
20	0,34202	0,34475	0,34748	0,35021	0,35293	0,35565	0,35837	69
21	0,35837	0,36108	0,36379	0,36650	0,36921	0,37191	0,37461	68
22	0,37461	0,37730	0,37999	0,38268	0,38537	0,38805	0,39073	67
23	0,39073	0,39341	0,39608	0,39875	0,40142	0,40408	0,40674	66
24	0,40674	0,40939	0,51204	0,41469	0,41734	0,41998	0,42262	65
25	0,42262	0,42525	0,42788	0,43051	0,43313	0,43575	0,43837	64
26	0,43837	0,44098	0,44359	0,44620	0,44880	0,45140	0,45399	63
27	0,45399	0,45658	0,45917	0,46175	0,46433	0,46690	0,46947	62
28	0,46947	0,47204	0,47460	0,47716	0,47971	0,48226	0,48481	61
29	0,48481	0,48735	0,48989	0,49242	0,49495	0,49748	0,50000	60
30	0,50000	0,50252	0,50503	0,50754	0,51004	0,51254	0,51504	59
31	0,51504	0,51753	0,52002	0,52250	0,52498	0,52745	0,52992	58
32	0,52992	0,53238	0,53484	0,53730	0,53975	0,54220	0,54464	57
33	0,54464	0,54708	0,54951	0,55194	0,55436	0,55678	0,55919	56
34	0,55919	0,56160	0,56401	0,56641	0,56880	0,57119	0,57358	55
35	0,57358	0,57596	0,57833	0,58070	0,58307	0,58543	0,58779	54
36	0,58779	0,59014	0,59248	0,59482	0,59716	0,59949	0,60182	53
37	0,60182	0,60414	0,60645	0,60876	0,61107	0,61337	0,61566	52
38	0,61566	0,61795	0,62024	0,62251	0,62479	0,62706	0,62932	51
39	0,62932	0,63158	0,63383	0,63608	0,63832	0,64056	0,64279	50
40	0,64279	0,64501	0,64723	0,64945	0,65166	0,65386	0,65606	49
41	0,65606	0,65825	0,66044	0,66262	0,66480	0,66697	0,66913	48
42	0,66913	0,67129	0,67344	0,67559	0,67773	0,67987	0,68200	47
43	0,68200	0,68412	0,68624	0,68835	0,69046	0,69256	0,69466	46
44	0,69466	0,69675	0,69883	0,70091	0,70298	0,70505	0,70711	45
	60′	50′	40′	30′	20′	10′	0′	Grados
	COSENO							

Grados	COSENO							
	0′	10′	20′	30′	40′	50′	60′	
0	1,00000	1,00000	0,99998	0,99996	0,99993	0,99989	0,99985	89
1	0,99985	0,99979	0,99973	0,99966	0,99958	0,99949	0,99939	88
2	0,99939	0,99929	0,99917	0,99905	0,99892	0,99878	0,99863	87
3	0,99863	0,99847	0,99831	0,99813	0,99795	0,99776	0,99756	86
4	0,99756	0,99736	0,99714	0,99692	0,99668	0,99644	0,99619	85
5	0,99619	0,99594	0,99567	0,99540	0,99511	0,99482	0,99452	84
6	0,99452	0,99421	0,99390	0,99357	0,99324	0,99290	0,99255	83
7	0,99255	0,99219	0,99182	0,99144	0,99106	0,99067	0,99027	82
8	0,99027	0,98986	0,98944	0,98902	0,98858	0,98814	0,98769	81
9	0,98769	0,98723	0,98676	0,98629	0,98580	0,98531	0,98481	80
10	0,98481	0,98430	0,98378	0,98325	0,98272	0,98218	0,98163	79
11	0,98163	0,98107	0,98050	0,97992	0,97934	0,97875	0,97815	78
12	0,97815	0,97754	0,97692	0,97630	0,97566	0,97502	0,97437	77
13	0,97437	0,97371	0,97304	0,97237	0,97169	0,97100	0,97030	76
14	0,97030	0,96959	0,96887	0,96815	0,96742	0,96667	0,96593	75
15	0,96593	0,96517	0,96440	0,96363	0,96285	0,96206	0,96126	74
16	0,96126	0,96046	0,95964	0,95882	0,95799	0,95715	0,95630	73
17	0,95630	0,95545	0,95459	0,95372	0,95284	0,95195	0,95106	72
18	0,95106	0,95015	0,94924	0,94832	0,94740	0,94646	0,94552	71
19	0,94552	0,94457	0,94361	0,94264	0,94167	0,94068	0,93969	70
20	0,93969	0,93869	0,93769	0,93667	0,93565	0,93462	0,93358	69
21	0,93358	0,93253	0,93148	0,93042	0,92935	0,92827	0,92718	68
22	0,92718	0,92609	0,92499	0,92388	0,92276	0,92164	0,92050	67
23	0,92050	0,91936	0,91822	0,91706	0,91590	0,91472	0,91355	66
24	0,91355	0,91236	0,91116	0,90996	0,90875	0,90753	0,90631	65
25	0,90631	0,90507	0,90383	0,90259	0,90133	0,90007	0,89879	64
26	0,89879	0,89752	0,89623	0,89493	0,89363	0,89232	0,89101	63
27	0,89101	0,88968	0,88835	0,88701	0,88566	0,88431	0,88295	62
28	0,88295	0,88158	0,88020	0,87882	0,87743	0,87603	0,87462	61
29	0,87462	0,87321	0,87178	0,87036	0,86892	0,86748	0,86603	60
30	0,86603	0,86457	0,86310	0,86163	0,86015	0,85866	0,85717	59
31	0,85717	0,85567	0,85416	0,85264	0,85112	0,84959	0,84805	58
32	0,84805	0,84650	0,84495	0,84339	0,84182	0,84025	0,83867	57
33	0,83867	0,83708	0,83549	0,83389	0,83228	0,83066	0,82904	56
34	0,82904	0,82741	0,82577	0,82413	0,82248	0,82082	0,81915	55
35	0,81915	0,81748	0,81580	0,81412	0,81242	0,81072	0,80902	54
36	0,80902	0,80730	0,80558	0,80386	0,80212	0,80038	0,79864	53
37	0,79864	0,79688	0,79512	0,79335	0,79158	0,78980	0,78801	52
38	0,78801	0,78622	0,78442	0,78261	0,78079	0,77897	0,77715	51
39	0,77715	0,77531	0,77347	0,77162	0,76977	0,76604	0,76604	50
40	0,76604	0,76417	0,76229	0,76041	0,75851	0,75661	0,75471	49
41	0,75471	0,75280	0,75088	0,74896	0,74703	0,74509	0,74314	48
42	0,74314	0,74120	0,73924	0,73728	0,73531	0,73333	0,73135	47
43	0,73135	0,72937	0,72737	0,72537	0,72337	0,72136	0,71934	46
44	0,71934	0,71732	0,71529	0,71325	0,71121	0,70916	0,70711	45
	60′	50′	40′	30′	20′	10′	0′	Grados
	SENO							

Grados	TANGENTE 0′	10′	20′	30′	40′	50′	60′	
0	0,00000	0,00291	0,00582	0,00873	0,01164	0,01455	0,01746	89
1	0,01746	0,02036	0,02328	0,02619	0,02910	0,03201	0,03492	88
2	0,03492	0,03783	0,04075	0,04366	0,04568	0,04949	0,05241	87
3	0,05241	0,05533	0,05824	0,06116	0,06408	0,06700	0,06993	86
4	0,06993	0,07285	0,07578	0,07870	0,08163	0,08456	0,08749	85
5	0,08749	0,09042	0,09335	0,09629	0,09923	0,10216	0,10510	84
6	0,10510	0,10805	0,11099	0,11394	0,11688	0,11983	0,12278	83
7	0,12278	0,12574	0,12869	0,13165	0,13461	0,13758	0,14054	82
8	0,14054	0,14351	0,14648	0,14945	0,15243	0,15540	0,15838	81
9	0,15838	0,16137	0,16435	0,16734	0,17033	0,17333	0,17633	80
10	0,17633	0,17933	0,18233	0,18534	0,18835	0,19136	0,19438	79
11	0,19438	0,19740	0,20042	0,20345	0,20648	0,20952	0,21256	78
12	0,21256	0,21560	0,21864	0,22169	0,22475	0,22781	0,23087	77
13	0,23087	0,23393	0,23700	0,24008	0,24316	0,24624	0,24933	76
14	0,24933	0,25242	0,25552	0,25862	0,26172	0,26483	0,26795	75
15	0,26795	0,27107	0,27419	0,27732	0,28046	0,28360	0,28675	74
16	0,28675	0,28990	0,29305	0,29621	0,29938	0,30255	0,30573	73
17	0,30573	0,30891	0,31210	0,31530	0,31850	0,32171	0,32492	72
18	0,32492	0,32814	0,33136	0,33460	0,33783	0,34108	0,34433	71
19	0,34433	0,34758	0,35085	0,35412	0,35740	0,36068	0,36397	70
20	0,36397	0,36727	0,37057	0,37388	0,37720	0,38053	0,38386	69
21	0,38386	0,38721	0,39055	0,39391	0,39727	0,40065	0,40403	68
22	0,40403	0,40741	0,41081	0,41421	0,41763	0,42105	0,42447	67
23	0,42447	0,42791	0,43136	0,43481	0,43828	0,44175	0,44523	66
24	0,44523	0,44872	0,45222	0,45573	0,45924	0,46277	0,46631	65
25	0,46631	0,46985	0,47341	0,47698	0,48055	0,48414	0,48773	64
26	0,48773	0,49134	0,49495	0,49858	0,50222	0,50587	0,50953	63
27	0,50953	0,51320	0,51688	0,52057	0,52427	0,52798	0,53171	62
28	0,53171	0,53545	0,53920	0,54296	0,54673	0,55051	0,55431	61
29	0,55431	0,55812	0,56194	0,56577	0,56962	0,57348	0,57735	60
30	0,57735	0,58124	0,58513	0,58905	0,59297	0,59691	0,60086	59
31	0,60086	0,60483	0,60881	0,61280	0,61681	0,62083	0,62487	58
32	0,62487	0,62892	0,63299	0,63707	0,64117	0,64528	0,64941	57
33	0,64941	0,65355	0,65771	0,66189	0,66608	0,67028	0,67451	56
34	0,67451	0,67875	0,68301	0,68728	0,69157	0,69588	0,70021	55
35	0,70021	0,70455	0,70891	0,71329	0,71769	0,72211	0,72654	54
36	0,72654	0,73100	0,73547	0,73996	0,74447	0,74900	0,75355	53
37	0,75355	0,75812	0,76272	0,76733	0,77196	0,77661	0,78129	52
38	0,78129	0,78598	0,79070	0,79544	0,80020	0,80498	0,80978	51
39	0,80978	0,81461	0,81946	0,82434	0,82923	0,83415	0,83910	50
40	0,83910	0,84407	0,84906	0,85408	0,85912	0,86419	0,86929	49
41	0,86929	0,87441	0,87955	0,88473	0,88992	0,89515	0,90040	48
42	0,90040	0,90569	0,91099	0,91633	0,92170	0,92709	0,93252	47
43	0,93252	0,93797	0,94345	0,94896	0,95451	0,96008	0,96569	46
44	0,96569	0,97133	0,97700	0,98270	0,98843	0,99420	1,00000	45
	60′	50′	40′	30′	20′	10′	0′	Grados
	COTANGENTE							

Grados	COTANGENTE 0′	10′	20′	30′	40′	50′	60	
0	∞	343,77371	171,88540	114,58865	85,93979	68,75009	57,28996	89
1	57,28996	49,10388	42,96408	38,18846	34,36777	31,24158	28,63625	88
2	28,63625	26,43160	24,54176	22,90377	21,47040	20,20555	19,08114	87
3	19,08114	18,07498	17,16934	16,34986	15,60478	14,92442	14,30067	86
4	14,30067	13,72674	13,19688	12,70621	12,25051	11,82617	11,43005	85
5	11,43005	11,05943	10,71191	10,38540	10,07803	9,78817	9,51436	84
6	9,51436	9,25530	9,00983	8,77689	8,55555	8,34496	8,14435	83
7	8,14435	7,95302	7,77035	7,59575	7,42871	7,26873	7,11537	82
8	7,11537	6,96823	6,82694	6,69116	6,56055	6,43484	6,31375	81
9	6,31375	6,19703	6,08444	5,97576	5,87080	5,76937	5,67128	80
10	5,67128	5,57638	5,48451	5,39552	5,30928	5,22566	5,14455	79
11	5,14455	5,06584	4,98940	4,91516	4,84300	4,77286	4,70463	78
12	4,70463	4,63825	4,57363	4,51071	4,44942	4,38969	4,33148	77
13	4,33148	4,27471	4,21933	4,16530	4,11256	4,06107	4,01078	76
14	4,01078	3,96165	3,91364	3,86671	3,82083	3,77595	3,73205	75
15	3,73205	3,68909	3,64705	3,60588	3,56557	3,52609	3,48741	74
16	3,48741	3,44951	3,41236	3,37594	3,34023	3,30521	3,27085	73
17	3,27085	3,23714	3,20406	3,17159	3,13972	3,10842	3,07768	72
18	3,07768	3,04749	3,01783	2,98869	2,96004	2,93189	2,90421	71
19	2,90421	2,87700	2,85023	2,82391	2,79802	2,77254	2,74748	70
20	2,74748	2,72281	2,69853	2,67462	2,65109	2,62791	2,60509	69
21	2,60509	2,58261	2,56046	2,53865	2,51715	2,49597	2,47509	68
22	2,47509	2,45451	2,43422	2,41421	2,39449	2,37504	2,35585	67
23	2,35585	2,33693	2,31826	2,29984	2,28167	2,26374	2,24604	66
24	2,24604	2,22857	2,21132	2,19430	2,17749	2,16090	2,14451	65
25	2,14451	2,12832	2,11233	2,09654	2,08094	2,06553	2,05030	64
26	2,05030	2,03526	2,02039	2,00569	1,99116	1,97680	1,96261	63
27	1,96261	1,94858	1,93470	1,92098	1,90741	1,89400	1,88073	62
28	1,88073	1,86760	1,85462	1,84177	1,82906	1,81649	1,80405	61
29	1,80405	1,79174	1,77955	1,76749	1,75556	1,74375	1,73205	60
30	1,73205	1,72047	1,70901	1,69766	1,68643	1,67530	1,66428	59
31	1,66428	1,65337	1,64256	1,63185	1,62125	1,61074	1,60033	58
32	1,60033	1,59002	1,57981	1,56969	1,55966	1,54972	1,53987	57
33	1,53987	1,53010	1,52043	1,51084	1,50133	1,49190	1,48256	56
34	1,48256	1,47330	1,46411	1,45501	1,44598	1,43703	1,42815	55
35	1,42815	1,41934	1,41061	1,40195	1,39336	1,38484	1,37638	54
36	1,37638	1,36800	1,35968	1,35142	1,34323	1,33511	1,32704	53
37	1,32704	1,31904	1,31110	1,30323	1,29541	1,28764	1,27994	52
38	1,28994	1,27230	1,26471	1,25717	1,24969	1,24227	1,23490	51
39	1,23490	1,22758	1,22031	1,21310	1,20593	1,19882	1,19175	50
40	1,19175	1,18474	1,17777	1,17085	1,16398	1,15715	1,15037	49
41	1,15037	1,14363	1,13694	1,13029	1,12369	1,11713	1,11061	48
42	1,11061	1,10414	1,09770	1,09131	1,08496	1,07864	1,07237	47
43	1,07273	1,06613	1,05994	1,05378	1,04766	1,04158	1,03553	46
44	1,03553	1,02952	1,02355	1,01761	1,01170	1,00583	1,00000	45
	60′	50′	40′	30′	20′	10′	0′	Grados
	TANGENTE							

Tabla 269

Principales características físicas de los metales y de sus aleaciones							
Material	Peso específico kg/dm³	Punto de fusión a 760 mm Hg °C	Punto de ebullición a 760 mm Hg C	Calor de fusión kcal/kg	Calor específico medio entre 0° y 100° C kcal/kg	Valor medio del coeficiente de dilatación lineal entre 0° y 100 °C	Conductibilidad térmica en kcal/h × m × °C
Acero	7,85	1450-1530	—	—	0,111	0,000012	22-45
Aluminio	2,70	658,7	1850	94	0,226	0,000024	175
Aluminio (aleaciones)	2,6-3,0	550-650	—	—	—	0,000023	115-130
Antimonio	6,62	630	1440	38,9	0,052	0,000011	19,4
Plata	10,50	960,5	1955	26	0,056	0,000020	360
Bismuto	9,8	271	1420	13	0,032	0,000013	8,8
Bronce	7,4-8,9	900	—	—	0,009	0,000018	50-55
Cadmio	8,65	321	778	14	0,056	0,000030	83,9
Cobalto	8,8	1490	3185	58,3	0,095	0,000018	—
Costantán	8,8	—	—	—	0,098	0,000015	20
Cromo	6,7	1510	2200	32	0,106	0,000008	—
Elektrón	1,8	625	—	—	0,24	0,000023	115-135
Hierro	7,86	1450-1530	3235	49,5	0,111	0,000012	30-55
Fundición	7,25	1150-1300	—	23	0,13	0,000010	40
Magnesio	1,74	650	1120	47	0,25	0,000026	135
Manganina	8,4	960	—	—	0,097	—	20
Mercurio	13,59	-38,9	357	2,8	0,033	0,000181	6,5
Molibdeno	10,2	2500	3560	—	0,063	0,000005	125
Níquel	8,6-8,9	1452	3075	56	0,115	0,000013	50
Latón	8,4-8,7	900	—	—	0,092	0,000019	50-100
Oro	19,3	1064	2200	16	0,031	0,000015	265
Plomo	11,3	327,4	1525	5,5	0,035	0,000029	30
Platino	21,4	1755	3800	27	0,032	0,000009	60
Cobre	8,3-8,9	1083	2310	42	0,101	0,000017	320
Silicio	2,35	1460	2800	—	—	0,000008	—
Estaño	7,2-7,5	232	2270	13,8	0,068	0,000027	54
Tántalo	16,6	2900	4100	—	0,036	0,000006	47
Titanio	4,5	1900	3000	—	0,113	—	—
Vanadio	5,69	1700	3000	—	0,115	—	—
Tungsteno	19,1	3000	5900	—	0,033	0,000005	101,9
Cinc	7,1	419,4	920	28	0,092	0,000030	95

Tabla 270

Relación entre unidades de presión

Unidades de presión	kg / mm²	kg / cm²	atm	mm de H_2O (kg/m²)	mm de Hg	lbs. / sq.in	lbs. / sq.ft.	lbs. / sq.yd.	lg. / sq.in	en W.G.	en Hg
1 kg/mm²	1,00	100,00	96,7773	—	73.551,00	1.422,33	—	—	0,6350	39.370,00	2.896,00
1 kg/cm²	0,01	1,00	0,9678	10.000,00	735,51	14,2233	2.048,15	18.433,00	0,0063	393,70	28,9571
1 mm H_2O (kg/m²)	—	0,0001	—	1,00	0,0736	0,0014	0,2048	1,8433	—	0,0394	0,0029
1 atm	0,0103	1,0333	1,00	10.333,00	760,00	14,6969	2.116,35	19.047,00	0,0066	406,81	29,9213
1 mm de Hg	—	0,0014	0,00132	13,5960	1,00	0,0193	2,7847	25,0623	—	0,5353	0,0394
1 lb./sq.in.	—	0,0703	0,06804	703,07	51,7116	1,00	144,00	1.296,00	—	27,6801	2,0359
1 lb./sq.ft.	—	—	—	4,8824	0,3591	0,00694	1,00	9,00	—	0,1922	0,0141
1 lb./sq.yd.	—	—	—	0,5425	0,0399	—	0,1111	1,00	—	0,0214	0,0016
1 lg./sq.in.	1,5749	157,49	152,41	—	—	2.240,00	—	—	1,00	61.998,00	4.560,00
1 en Hg	—	0,0345	0,03342	345,34	25,4000	0,4912	70,7324	636,59	—	13,5960	1,00
1 en W.G.	—	0,0025	0,00246	25,4000	1,8682	0,0361	5,2024	46,8219	—	1,00	0,0736

Tabla 271

Conversión de pulgadas inglesas en mm

Pulgadas	0	1/16	1/8	3/16	1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	9/16	5/8	11/16	3/4	13/16	7/8	15/16
0	0	1,59	3,18	4,76	6,35	7,94	9,53	11,11	12,70	14,29	15,88	17,46	19,05	20,64	22,23	23,81
1	25,40	26,99	28,58	30,16	31,75	33,34	34,93	36,51	38,10	39,69	41,28	42,86	44,45	46,04	47,63	49,21
2	50,80	52,39	53,98	55,56	57,15	58,74	60,33	61,91	63,50	65,09	66,68	68,26	69,85	71,44	73,03	74,61
3	76,20	77,79	79,38	80,96	82,55	84,14	85,73	87,31	88,90	90,49	92,08	93,66	95,25	96,84	98,43	100,01
4	101,60	103,19	104,78	106,36	107,95	109,54	111,13	112,71	114,30	115,89	117,48	119,06	120,65	122,24	123,83	125,41
5	127,00	128,59	130,18	131,76	133,35	134,94	136,53	138,11	139,70	141,29	142,88	144,46	146,05	147,64	149,23	150,81
6	152,40	153,99	155,58	157,16	158,75	160,34	161,93	163,51	165,10	166,69	168,28	169,86	171,45	183,04	174,63	176,21
7	177,80	179,39	180,98	182,56	184,15	185,74	187,33	188,91	190,50	192,09	193,68	195,26	196,85	198,44	200,03	201,61
8	203,20	204,79	206,38	207,96	209,55	211,14	212,73	214,31	215,90	217,49	219,08	220,66	222,25	223,84	225,43	227,01
9	228,60	230,19	231,78	233,36	234,95	236,54	238,13	239,71	241,30	242,89	244,48	246,06	247,65	249,24	250,83	252,41
10	254,00	255,59	257,18	258,76	260,35	261,94	263,53	265,11	266,70	268,29	269,88	271,46	273,05	274,64	276,23	277,81
11	279,40	280,99	282,58	284,16	285,75	287,34	288,93	290,51	292,10	293,69	295,28	296,86	298,45	300,04	301,63	303,21
12	304,80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Tabla 272

Relaciones entre unidades de peso

Unidades de peso	kg	q	t	lbs.	cwt.	lg.	sht.
1 kilogramo (kg)	1,00	0,01	0,001	2,2046	0,0197	—	—
1 quintal (q)	100,00	1,00	0,100	220,46	1,9684	0,0984	0,1102
1 tonelada métrica (t)	1.000,00	10,00	1,00	2.204,62	19,684	0,9842	1,1023
1 libra (lb.)	0,4536	—	—	1,00	0,0089	—	0,0005
1 centweight (cwt.)	50,8023	0,5080	0,0508	112,00	1,00	0,05-	0,056
1 long ton (lg.)	1.016,047	10,1605	1,0160	2.240,00	20,00	1,00	1,12
1 short ton o net ton (sht.)	907,185	9,0718	0,9072	2.000,00	17,857	0,8929	1,00

Tabla 273

Conversión de las fracciones de pulgadas inglesas en fracciones decimales de pulgadas inglesas y en mm

Fracciones de pulgadas	mm	Fracciones de pulgadas	mm
1/64 = 0,015626	0,397	33/64 = 0,515625	13,097
1/32 = 0,03125	0,794	17/32 = 0,53125	13,494
3/64 = 0,046875	1,191	35/64 = 0,546875	13,891
1/16 = 0,0625	1,588	9/16 = 0,5625	14,288
5/64 = 0,078125	1,984	37/64 = 0,578125	14,684
3/32 = 0,09375	2,381	19/32 = 0,59375	15,081
7/64 = 0,109375	2,778	39/64 = 0,609375	15,478
1/8 = 0,125	5,175	5/8 = 0,625	15,875
9/64 = 0,140625	3,572	41/64 = 0,640625	16,272
5/32 = 0,15625	3,969	21/32 = 0,65625	16,669
11/64 = 0,171875	4,366	43/64 = 0,671875	17,066
3/16 = 0,1875	4,763	11/16 = 0,6875	17,462
13/64 = 0,203125	5,159	45/64 = 0,703125	17,859
7/32 = 0,21875	5,556	23/32 = 0,71875	18,256
15/64 = 0,234375	5,953	47/64 = 0,734375	18,653
1/4 = 0,25	6,350	3/4 = 0,75	19,050
17/64 = 0,265625	6,747	49/64 = 0,765625	19,447
9/32 = 0,28125	7,144	25/32 = 0,78125	19,844
19/64 = 0,296875	7,541	51/64 = 0,796875	20,241
5/16 = 0,3125	7,938	13/16 = 0,8125	20,638
21/64 = 0,328125	8,334	53/64 = 0,828125	21,034
11/32 = 0,34375	8,731	27/32 = 0,84375	21,431
23/64 = 0,359375	9,128	55/64 = 0,859375	21,828
3/8 = 0,375	9,525	7/8 = 0,875	22,225
25/64 = 0,390625	9,922	57/64 = 0,890625	22,622
13/32 = 0,40625	10,319	29/32 = 0,90625	23,019
27/64 = 0,421875	10,716	59/64 = 0,291875	23,416
7/16 = 0,4375	11,113	15/16 = 0,9375	23,816
29/64 = 0,453125	11,509	61/64 = 0,953125	24,209
15/32 = 0,46875	11,906	31/32 = 0,96875	24,606
31/64 = 0,484375	12,303	63/64 = 0,984375	25,003
1/2 = 0,5	12,700	1 = 1,000	25,400

Tabla de conversión de las temperaturas centígradas en Fahrenheit y viceversa

de 0 a 100						de 100 a 1000					
°C	T	°F	°C	T	°F	°C	T	°F	°C	T	°F
—17,8	0	32									
—17,2	1	33,8	10,6	51	123,8	38	100	212	310	590	1094
—16,7	2	35,6	11,1	52	125,6	43	110	230	316	600	1112
—16,1	3	37,4	11,7	53	127,4	49	120	248	321	610	1130
—15,6	4	39,2	12,2	54	129,2	54	130	266	327	620	1148
—15,0	5	41,0	12,8	55	131,0	60	140	284	332	630	1166
—14,4	6	42,8	13,3	56	132,8	66	150	302	338	640	1184
—13,9	7	44,6	13,9	57	134,6	71	160	320	343	650	1202
—13,3	8	46,4	14,4	58	136,4	77	170	338	349	660	1220
—12,8	9	48,2	15,0	59	138,2	82	180	356	354	670	1238
—12,2	10	50,0	15,6	60	140,0	88	190	374	360	680	1256
—11,7	11	51,8	16,1	61	141,8	93	200	392	366	690	1274
—11,1	12	53,6	16,7	62	143,6	99	210	410	371	700	1292
—10,6	13	55,4	17,2	63	145,4	100	212	413	377	710	1310
—10,0	14	57,2	17,8	64	147,2	104	220	428	382	720	1328
— 9,44	15	59,0	18,3	65	149,0	110	230	446	388	730	1346
— 8,89	16	61,8	18,9	66	150,8	116	240	464	393	740	1364
— 8,33	17	63,6	19,4	67	152,6	121	250	482	399	750	1382
— 7,78	18	65,4	20,0	68	154,4	127	260	500	404	760	1400
— 7,22	19	67,2	20,6	69	156,2	132	270	518	410	770	1418
— 6,67	20	68,0	21,1	70	158,0	138	280	536	416	780	1436
— 6,11	21	69,8	21,7	71	159,8	143	290	554	421	790	1454
— 5,56	22	71,6	22,2	72	161,6	149	300	572	427	800	1472
— 5,00	23	73,4	22,8	73	163,4	154	310	590	432	810	1490
— 4,44	24	75,2	23,3	74	165,2	160	320	608	438	820	1508
— 3,89	25	77,0	23,9	75	167,0	166	330	626	443	830	1526
— 3,33	26	78,8	24,4	76	168,8	171	340	644	449	840	1544
— 2,78	27	80,6	25,0	77	170,6	177	350	662	454	850	1562
— 2,22	28	82,4	25,6	78	172,4	182	360	680	460	860	1580
— 1,67	29	84,2	26,1	79	174,2	188	370	698	466	870	1598
— 1,11	30	86,0	26,7	80	176,0	193	380	716	471	880	1616
— 0,56	31	87,8	27,2	81	177,8	199	390	734	477	890	1634
0	32	89,6	27,8	82	179,6	204	400	752	482	900	1652
0,56	33	91,4	28,3	83	181,4	210	410	770	488	910	1670
1,11	34	93,2	28,9	84	183,2	216	420	788	493	920	1688
1,67	35	95,0	29,4	85	185,0	221	430	806	499	930	1706
2,22	36	96,8	30,0	86	186,8	227	440	824	504	940	1724
2,78	37	98,6	30,6	87	188,6	232	450	842	510	950	1742
3,33	38	100,4	31,1	88	190,4	238	460	860	516	960	1760
3,89	39	102,2	31,7	89	192,2	243	470	878	521	970	1778
4,44	40	104,0	32,2	90	194,0	249	430	896	527	980	1796
5,00	41	105,8	32,8	91	195,8	254	490	914	532	990	1814
5,56	42	107,6	33,3	92	197,6	260	500	932	538	1000	1832
6,11	43	109,4	33,9	93	199,4	266	510	950			
6,67	44	111,2	34,4	94	201,2	271	520	968			
7,22	45	113,0	35,0	95	203,0	277	530	986			
7,78	46	114,8	35,6	96	204,8	282	540	1004			
8,33	47	116,6	36,1	97	206,6	288	550	1022			
8,89	48	118,4	36,7	98	208,4	293	560	1040			
9,44	49	120,2	37,2	99	210,2	299	570	1058			
10,0	50	122,0	37,8	100	212,0	304	580	1076			

La temperatura a convertir se lee en la columna encabezada T: la temperatura centígrada o Fahrenheit resultante de la conversión se halla en la columna encabezada "C o "F. Ejemplo: 92" C corresponden a 197,6" F: y 92" F corresponden a 33,3" C.

Tabla 275

Valores de conversión aproximados de la dureza y de la resistencia a la tracción del acero

(De la Euronorm 8-55)

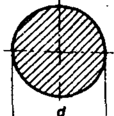
Dureza Brinell HB ($P=30\ D^2$)	Dureza Rockwell		Dureza Vickers HV ($P=30$ kg)	Resistencia a la tracción kg/mm²
	H R B	H R C		
80	36,4		80	28
85	42,4		85	30
90	47,4		90	32
95	52,0		95	33
100	56,4		100	35
105	60,0		105	37
110	63,4		110	39
115	66,4		115	40
120	69,4		120	42
125	72,0		125	43
130	74,4		130	45
135	76,4		135	47
140	78,4		140	48
145	80,4		145	50
150	82,2		150	51
155	83,8		155	53
160	85,4		160	55
165	86,8		165	56
170	88,2		170	58
175	89,6		175	60
180	90,8		180	62
185	91,8		185	63
190	93,0		190	65
195	94,0		195	67
200	95,0		200	68
205	95,8		205	70
210	96,6		210	72
215	97,6		215	73
220	98,2		220	75
225	99,0		225	77
230		19,2	230	78
235		20,2	235	80
240		21,2	240	82
245		22,1	245	84
250		23,0	250	85
255		23,8	255	87
260		24,6	260	89
265		26,4	265	90
270		26,2	270	92
275		26,9	275	94
280		27,6	280	96
285		28,3	285	97
290		29,0	290	99
295		29,6	295	101
300		30,3	300	103
310		31,5	310	106
320		32,7	320	110
330		33,8	330	113
340		34,9	340	117
350		36,0	350	120
359		37,0	360	123
368		38,0	370	126
376		38,9	380	129
385		39,8	390	132
392		40,7	400	135
400		41,5	410	138
408		42,4	420	141
415		43,2	430	144
423		44,0	440	146
430		44,8	450	149
		45,5	460	
		46,3	470	
		47,0	480	
		47,7	490	
		48,3	500	
		49,0	510	
		49,7	520	
		50,3	530	
		50,9	540	
		51,5	550	
		52,1	560	
		52,8	570	
		53,3	580	
		53,8	590	
		54,4	600	
		54,9	610	
		55,4	620	
		55,9	630	
		56,4	640	
		56,9	650	
		57,4	660	
		57,9	670	
		58,4	680	
		58,9	690	
		59,3	700	
		60,2	720	
		61,1	740	
		61,9	760	
		62,8	780	
		63,5	800	
		64,3	820	
		65,0	840	
		65,7	860	
		66,3	880	
		66,9	900	
		67,5	920	
		68,0	940	

Redondo de acero estirado (o torneado)

La tabla **UNI 468** da los diámetros unificados de los redondos de acero (estirado, torneado, etc.) con tolerancia h 11. Los redondos fabricados con precisión, con tolerancia h 9 están unificados en la tabla **UNI 469.** Finalmente, en la tabla 3113, están unificados los redondos con tolerancia h 8. Los diámetros en negro, entre 5 y 6 mm, sólo son válidos para la calidad h 11.

Designaciones: diámetro seguido de la sigla **UNI** y del número de la tabla correspondiente.

Ejemplos **3,7 UNI 468** es el redondo de 3,7 mm, tolerancia h 11;
3,7 UNI 469 . . . . h 9
3,7 UNI 3113 . . . . h 8



Las medidas unificadas están indicadas en la tabla que sigue. Los diámetros en negro sólo están unificados en la **UNI 468**

Tabla de la sección y del peso de los redondos de acero estirado o torneado.

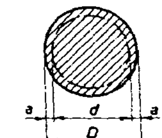
d mm	Sección mm²	Peso por metro kg	d mm	Sección mm²	Peso por metro kg	d mm	Sección mm²	Peso por metro kg
1	0,785	0,00617	4,8	18,1	0,142	15	177	1,39
1,1	0,950	0,00746	4,9	18,9	0,148	16	201	1,58
1,2	1,13	0,00888	5	19,6	0,154	17	227	1,78
1,3	1,33	0,0104	**5,1**	20,4	0,160	18	254	2,00
1,4	1,54	0,0121	5,2	21,2	0,167	19	284	2,23
1,5	1,77	0,0139	**5,3**	22,1	0,173	20	314	2,47
1,6	2,01	0,0158	**5,4**	22,9	0,180	21	346	2,72
1,7	2,27	0,0178	5,5	23,8	0,187	22	380	2,98
1,8	2,54	0,0200	**5,6**	24,6	0,193	23	415	3,26
1,9	2,84	0,0223	**5,7**	25,5	0,200	24	452	3,55
2	3,14	0,0247	5,8	26,4	0,207	25	491	3,85
2,1	3,46	0,0272	**5,9**	27,3	0,215	26	531	4,17
2,2	3,80	0,0298	6	28,3	0,222	27	573	4,49
2,3	4,15	0,0326	6,2	30,2	0,237	28	616	4,83
2,4	4,52	0,0355	6,5	33,2	0,260	30	707	5,55
2,5	4,91	0,0385	6,8	36,3	0,285	32	804	6,31
2,6	5,31	0,0417	7	38,5	0,302	33	855	6,71
2,7	5,73	0,0449	7,2	40,7	0,320	35	962	7,55
2,8	6,16	0,0483	7,5	44,2	0,347	36	1018	7,99
2,9	6,61	0,0519	7,8	47,8	0,375	38	1134	8,90
3	7,07	0,0555	8	50,3	0,395	**39**	1195	9,38
3,1	7,55	0,0592	8,2	52,8	0,415	40	1257	9,86
3,2	8,04	0,0631	8,5	56,7	0,445	42	1385	10,9
3,3	8,55	0,0671	8,8	60,8	0,477	45	1590	12,5
3,4	9,08	0,0713	9	63,6	0,499	48	1810	14,2
3,5	9,62	0,0755	9,2	66,5	0,522	50	1963	15,4
3,6	10,2	0,0799	9,5	70,9	0,556	52	2124	16,7
3,7	10,8	0,0844	9,8	75,4	0,592	55	2376	18,7
3,8	11,3	0,0890	10	78,5	0,617	**56**	2463	19,3
3,9	11,9	0,0938	10,5	86,6	0,680	58	2642	20,7
4	12,6	0,0986	11	95	0,746	60	2827	22,2
4,1	13,2	0,104	11,5	104	0,815	**65**	3318	26
4,2	13,9	0,109	12	113	0,888	**70**	3848	30,2
4,3	14,5	0,114	12,5	123	0,963	**75**	4418	34,7
4,4	15,2	0,119	13	133	1,04	**80**	5027	39 5
4,5	15,9	0,125	13,5	143	1,12	**85**	5675	44,5
4,6	16,6	0,130	14	154	1,21	**90**	6362	49,9
4,7	17,3	0,136	14,5	165	1,30			

Barras redondas.

Laminados en caliente. Unificadas en la tabla UNI 706, que indica los diámetros, las tolerancias, las secciones y el peso por metro. Las tolerancias varían desde ± 0,25 hasta ± 3 mm, al variar el diámetro de 5 a 180 milímetros.
Se han previsto los diámetros siguientes en mm. (Para las secciones y pesos, véase la tabla número 276.)

d = 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 23; 24; 25; 26; 27; 28; 29; 30; 32; 33; 34; 35; 36; 37; 38; 39; 40; 42; 43; 45; 47; 48; 50; 53; 55; 58; 60; 63; 65; 68; 70; 73; 75; 78; 80; 83; 85; 88; 90; 93; 95; 100; 105; 110; 115; 120; 125; 130; (135); 140; (145); 150; 160; 170; 180.

Designación: **d UNI 706.** Ejemplo: **85 UNI 706.**



Forjadas. Unificadas en la tabla UNI 3029 que indica la tolerancia (variable de ± 0,5 hasta ± 15 mm), la sección, el peso por metro, el metal a rebajar, el diámetro resultante del mecanizado en frío. Los diámetros en milímetros brutos previstos son:

D = 20; 22; 24; 26; 28; 30; 33; 36; 38; 40; 42; 45; 47; 49; 53; 56; 58; 60; 64; 67; 69; 75; 80; 86; 91; 97; 102; 107; 113; 118; 123; 129; 134; 139; 145; 150; 156; 161; 166; 171; 177; 182; 187; 193; 198; 209; 219; 230; 240; 251; 262; 272; 283; 293; 303; 314; 324; 335; 345; 355; 366; 376; 387; 397; 407; 418; 428; 439; 449; 459; 470; 480; 491; 501; 511; 522; 532; 543; 553; 563; 574; 584; 595; 605; 615; 625; 635.

Los diámetros resultantes del mecanizado variarán proporcionalmente de 16 a 600 mm.

Designación: **Barra D UNI 3029.** Ejemplo: **Barra 428 UNI 3029.**

Redondos de acero laminados en caliente, destinados a estirado para pernos, roblones, remaches estampados en frío. En la tabla UNI 3541 están unificados los siguientes diámetros con tolerancias variables de $\begin{smallmatrix}+0{,}3\\-0{,}1\end{smallmatrix}$ a $\begin{smallmatrix}+0{,}4\\-0{,}1\end{smallmatrix}$:

d = 5,2; 5,5; 6; 6,5; 7; 7,5; 8; 8,5; 9; 9,5; 10; 10,5; 11; 11,5; 12; 12,5; 13; 13,5; 14; 14,5; 15; 15,5; 16; 16,5; 17; 17,5; 18; 18,5; 19; 19,5; 20; 20,5; 21; 22; 26.

Designación: **Redondo d UNI 3541.** Ejemplo: **Redondo 13,5 UNI 3541.**

Tabla 278

(De la tabla UNI 3871)

Redondo de acero laminado en caliente para resortes

Designación: **Redondo d UNI 3871.** Ejemplo: **Redondo 16 UNI 3871.**

Diámetros unificados (los de caracteres finos sólo se emplearán en caso de necesidad).
Longitudes comerciales desde 4,5 hasta 7 m.

d mm	Tolerancia en d	Sección mm²	Momento de inercia J mm			Módulo de resistencia W mm³		
			polar	axial	Tolerancia %	a torsión	a flexión	Tolerancia %
7		38,5	236	118	+ 12,0 — 11,0	67	34	+ 8,8 — 8,3
8		50,3	402	201	+ 10,4 — 9,6	100	50	+ 7,7 — 7,3
9		63,6	644	322	+ 9,2 — 8,6	143	71	+ 6,8 — 6,5
10		78,5	981	490	+ 8,2 — 7,8	196	98	+ 6,1 — 5,9
11		95	1436	718	+ 7,5 — 7,1	261	131	+ 5,6 — 5,4
12		113	2034	1017	+ 6,9 — 6,5	339	170	+ 5,1 — 4,9
12,5		123	2395	1197	+ 6,6 — 6,3	383	192	+ 4,9 — 4,7
13	± 0,2	133	2802	1401	+ 6,3 — 6,0	431	216	+ 4,7 — 4,6
14		154	3769	1884	+ 5,9 — 5,6	538	269	+ 4,4 — 4,3
15		177	4966	2483	+ 5,4 — 5,2	662	331	+ 4,1 — 4,0
16		201	6429	3215	+ 5,1 — 4,9	804	402	+ 3,8 — 3,7
17		227	8193	4097	+ 4,8 — 4,6	964	482	+ 3,6 — 3,5
18		254	10298	5149	+ 4,5 — 4,4	1144	472	+ 3,4 — 3,3
19		284	12784	6392	+ 4,3 — 4,2	1346	673	+ 3,2 — 3,1
20		314	15696	7848	+ 4,0 — 4,0	1570	785	+ 3,0 — 3,0
21		346	19079	9539	+ 5,9 — 5,6	1817	609	+ 4,4 — 4,3
22,5		398	25141	12571	+ 5,4 — 5,2	2235	1117	+ 4,1 — 4,0
24	± 0,3	452	32550	16275	+ 5,1 — 4,9	2712	1356	+ 3,8 — 3,7
25		491	38320	19158	+ 4,9 — 4,7	3066	1533	+ 3,6 — 3,5
26		531	44829	22415	+ 4,7 — 4,5	3448	1724	+ 3,5 — 3,4
28		616	60295	30148	+ 4,3 — 4,2	4308	2153	+ 3,3 — 3,2
30		707	79461	39731	+ 5,4 — 5,2	5297	2649	+ 4,1 — 4,0
32	± 0,4	804	102864	51432	+ 5,1 — 4,9	6429	3215	+ 3,8 — 3,7
34		908	131094	65547	+ 4,8 — 4,6	7712	3856	+ 3,6 — 3,5
36		1018	164770	82385	+ 4,5 — 4,4	9154	4577	+ 3,4 — 3,3
38		1134	204552	102276	+ 4,3 — 4,2	10766	5383	+ 3,2 — 3,1
40		1257	251136	125508	+ 4,0 — 4,0	12557	6278	+ 3,0 — 3,0
42		1385	305257	152629	+ 3,9 — 3,8	14536	7268	+ 2,9 — 2,8
45		1590	402277	201136	+ 3,6 — 3,6	17879	8939	+ 2,7 — 2,7
48		1810	520755	260378	+ 3,4 — 3,4	21698	10849	+ 2,5 — 2,5
50		1963	613125	306563	+ 3,2 — 3,2	24525	12263	+ 2,4 — 2,4

Alambres redondos de acero para resortes, estirados crudos

En la tabla UNI 3823 se han previsto 4 alambres de acero al manganeso que son los suficientes y satisfacen a todas las exigencias para los alambres unificados en dicha tabla.
Se han previsto 5 clases de alambres redondos:
Clase A, alambre de poca resistencia; **clase B,** alambre de resistencia mediana; **clase C,** alambre de gran resistencia; **clase D,** alambre armónico; **clase E,** alambre superarmónico Los alambres de las tres primeras clases sirven para fabricar resortes de calidad corriente; los de las otras dos para resortes de calidad superior.

Designación: Alambre; clase; d, UNI 3823. Ejemplo: Alambre A 0,90 UNI 3823

Los diámetros en caracteres finos sólo se emplearán excepcionalmente.

d mm	Carga de rotura a tracción R kg/mm² — Clases				
	A	B	C	D	E
0,10	175 ÷ 210	210 ÷ 240	240 ÷ 275	275 ÷ 305	≥ 305
0.12	175 ÷ 210	210 ÷ 240	240 ÷ 275	275 ÷ 305	≥ 305
0,15	170 ÷ 205	205 ÷ 235	235 ÷ 270	270 ÷ 300	≥ 300
0,20	165 ÷ 200	200 ÷ 235	235 ÷ 265	265 ÷ 295	≥ 295
0,25	160 ÷ 195	195 ÷ 230	230 ÷ 260	260 ÷ 290	≥ 290
0,30	160 ÷ 195	195 ÷ 230	230 ÷ 260	260 ÷ 290	≥ 290
0,35	160 ÷ 195	195 ÷ 225	225 ÷ 255	255 ÷ 285	≥ 285
0,40	160 ÷ 195	195 ÷ 225	225 ÷ 255	255 ÷ 285	≥ 285
0,45	155 ÷ 190	190 ÷ 220	220 ÷ 250	250 ÷ 280	≥ 280
0,50	155 ÷ 190	190 ÷ 220	220 ÷ 250	250 ÷ 280	≥ 280
0,55	155 ÷ 190	190 ÷ 220	220 ÷ 250	250 ÷ 280	≥ 280
0,60	150 ÷ 185	185 ÷ 215	215 ÷ 245	245 ÷ 275	≥ 275
0,65	150 ÷ 185	185 ÷ 215	215 ÷ 245	245 ÷ 275	≥ 275
0,70	150 ÷ 185	185 ÷ 215	215 ÷ 245	245 ÷ 275	≥ 275
0,75	145 ÷ 180	180 ÷ 210	210 ÷ 240	240 ÷ 270	≥ 270
0,80	145 ÷ 180	180 ÷ 210	210 ÷ 240	240 ÷ 270	≥ 270
0,85	145 ÷ 180	180 ÷ 210	210 ÷ 240	240 ÷ 270	≥ 270
0,90	140 ÷ 175	175 ÷ 205	205 ÷ 235	235 ÷ 265	≥ 265
1,00	140 ÷ 175	175 ÷ 205	205 ÷ 235	235 ÷ 265	≥ 265
1,10	140 ÷ 175	175 ÷ 205	205 ÷ 235	235 ÷ 265	≥ 265
1,20	140 ÷ 175	170 ÷ 200	200 ÷ 230	230 ÷ 255	≥ 255
1,30	135 ÷ 170	170 ÷ 200	200 ÷ 230	230 ÷ 255	≥ 255
1,40	135 ÷ 170	170 ÷ 200	200 ÷ 230	230 ÷ 255	≥ 255
1,50	135 ÷ 165	165 ÷ 195	195 ÷ 225	225 ÷ 250	≥ 250
1,60	135 ÷ 160	160 ÷ 190	190 ÷ 200	220 ÷ 245	≥ 245

d mm	Carga de rotura a tracción R kg/mm² — Clases				
	A	B	C	D	E
1,70	135 ÷ 160	160 ÷ 185	185 ÷ 215	215 ÷ 240	≥ 240
1,80	130 ÷ 155	155 ÷ 180	180 ÷ 210	210 ÷ 235	≥ 235
1,90	130 ÷ 155	155 ÷ 180	180 ÷ 205	205 ÷ 230	≥ 230
2,00	130 ÷ 150	150 ÷ 175	175 ÷ 200	200 ÷ 225	≥ 225
2,10	130 ÷ 150	150 ÷ 175	175 ÷ 200	200 ÷ 225	≥ 225
2,20	130 ÷ 150	150 ÷ 175	175 ÷ 200	200 ÷ 220	≥ 220
2,30	130 ÷ 150	150 ÷ 170	170 ÷ 195	195 ÷ 215	≥ 215
2,40	130 ÷ 150	150 ÷ 170	170 ÷ 195	195 ÷ 215	≥ 215
2,50	130 ÷ 150	150 ÷ 170	170 ÷ 195	195 ÷ 215	≥ 215
2,80	125 ÷ 145	145 ÷ 165	165 ÷ 190	190 ÷ 205	≥ 205
3,00	125 ÷ 140	140 ÷ 160	160 ÷ 180	180 ÷ 200	≥ 200
3,20	125 ÷ 140	140 ÷ 160	160 ÷ 180	180 ÷ 200	≥ 200
3,50	125 ÷ 140	140 ÷ 160	160 ÷ 180	180 ÷ 200	≥ 200
3,80	115 ÷ 135	135 ÷ 155	155 ÷ 175	175 ÷ 195	≥ 195
4,00	115 ÷ 135	135 ÷ 155	155 ÷ 175	175 ÷ 195	≥ 195
4,50	110 ÷ 125	125 ÷ 140	140 ÷ 155	155 ÷ 170	≥ 170
5,00	110 ÷ 125	125 ÷ 140	140 ÷ 155	155 ÷ 170	≥ 170
5,50	110 ÷ 125	125 ÷ 140	140 ÷ 155	155 ÷ 170	≥ 170
6,00	105 ÷ 120	120 ÷ 135	135 ÷ 150	150 ÷ 165	≥ 165
7,00	100 ÷ 115	115 ÷ 130	130 ÷ 145	145 ÷ 160	≥ 160
8,00	100 ÷ 115	115 ÷ 130	130 ÷ 145	—	—
9,00	100 ÷ 115	115 ÷ 130	130 ÷ 145	—	—
10,00	95 ÷ 110	110 ÷ 125	—	—	—
11,00	95 ÷ 110	110 ÷ 125	—	—	—
12,00	95 ÷ 110	110 ÷ 125	—	—	—

Tabla 280

Alambres de acero

En la tabla UNI 467 se hallan los datos y diámetros unificados, las secciones, el peso por 1000 metros y las tolerancias correspondientes en el diámetro.
La designación se da con el diámetro **d** seguido de la sigla UNI 467 y eventualmente de las características mecánicas, del estado de acabado o del recubrimiento (galvanizado, estañado, etc.). No están incluidos los alambres para aplicaciones especiales (resortes, cables metálicos, tornillos laminados, etc.). Están unificados los ensayos de alambres (UNI 1474).

d mm	Sección mm²	Peso por 1000 m kg	d mm	Sección mm²	Peso por 1000 m kg	d mm	Sección mm²	Peso por 1000 m kg
0,10	0,00785	0,0617	0,70	0,385	3,02	2,6	5,31	41,7
0,12	0,0113	0,0888	0,80	0,503	3,95	2,7	5,73	44,9
0,14	0,0154	0,121	0,90	0,636	4,99	2,8	6,16	48,3
0,16	0,0201	0,158	1	0,785	6,17	3	7,07	55,5
0,18	0,0254	0,200	1,1	0,950	7,46	3,5	6,99	75,5
0,20	0,0314	0,247	1,2	1,13	8,88	4	12,6	98,6
0,22	0,0380	0,298	1,3	1,33	10,4	4,5	15,9	125
0,24	0,0452	0,355	1,4	1,54	12,1	5	19,6	154
0,26	0,0531	0,417	1,5	1,77	13,9	5,5	23,8	187
0,28	0,0616	0,483	1,6	2,01	15,8	6	28,3	222
0,31	0,0755	0,592	1,7	2,27	17,8	6,5	33,2	260
0,34	0,0908	0,713	1,8	2,54	20,0	7	38,5	302
0,37	0,108	0,844	2	3,14	24,7	7,6	45,4	356
0,40	0,126	0,986	2,1	3,46	27,2	8	50,3	395
0,45	0,159	1,25	2,2	3,80	29,8	8,2	52,8	415
0,50	0,196	1,54	2,3	4,15	32,6	8,8	60,8	477
0,55	0,238	1,87	2,4	4,52	3,55	9,4	69,4	454
0,60	0,283	2,22	2,5	4,91	38,5	10	78,5	617

En la tabla UNI 3598 se indican las características del alambre ordinario de acero y los ensayos a que se han de someter.
El ensayo de arrollamiento de 6 espiras que se toquen, sobre un husillo del mismo diámetro que el alambre (velocidad máxima 5 vueltas en el primer minuto) sin que presenten grietas, deben superarlo todos los tipos, con diámetro $\leq$ 5 mm.
Se han previsto 3 tipos de alambre, cada uno **crudo, dulce** o **recocido,** desnudo o recubierto.

alambre:
- tipo A Resiste el ensayo de arrollamiento.
- tipo B Resiste el ensayo de arrollamiento y el de tracción.
- tipo C Además de resistir los dos ensayos del tipo B, presenta también alargamientos mínimos, durante el ensayo de tracción, fijados en la tabla.

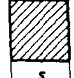
En la misma tabla 3598 se confrontan algunas «Series» de los diámetros de los alambres, empleados en algunos países con el nombre de **gauges** o **jauges.**
En la tabla **UNI 1475-76** se indican las prescripciones y los ensayos de los recubrimientos de los alambres.
En la tabla **UNI 1477-1489** (actualmente en revisión) están unificados los alambres de acero para cables, con cargas de rotura respectivamente de 60; 120; 150; 180; 210 kg/mm².

Tabla 281

Correspondencia entre varias series de numeración de los alambres de acero (De UNI 3598)

Francia				Inglaterra				Estados Unidos de América					
Jauge carcasse		Jauge de París		Standard Wire Gauge		Birminghan Wire Gauge		Brown & Sharpe American Wire		U. S. Goverment Standard		American Steel e Wire co's Gauge Washburn Maens	
N.	Diámetro mm	N.	Diámetro mm	N.	Diámetro mm	N.	Diámetro mm	N.	Diámetro mm	N.	Diámetro mm	N.	Diámetro mm
40	0,100	—	—	42	0,1016	36	0,102	38	0,101	—	—	—	—
38	0,110	—	—	41	0,1118	—	—	37	0,113	—	—	—	—
36	0,120	—	—	40	0,1219	35	0,127	36	0,127	—	—	—	—
—	—	—	—	39	0,1321	—	—	—	—	—	—	—	—
34	0,148	—	—	—	—	—	—	35	0,143	—	—	—	—
—	—	P 15	0,15	38	0,1524	—	—	—	—	38	0,159	—	—
32	0,160	P 14	0,16	—	—	—	—	34	0,160	37	0,169	—	—
—	—	P 13	0,17	37	0,1727	34	0,178	—	—	36	0,179	40	0,178
30	0,180	P 12	0,18	—	—	—	—	33	0,180	—	—	—	—
—	—	—	—	36	0,1930	—	—	—	—	35	0,198	39	0,190
28	0,200	P 11	0,20	—	—	33	0,203	32	0,202	—	—	38	0,203
—	—	—	—	35	0,2134	—	—	—	—	34	0,218	37	0,216
26	0,220	P 10	0,22	—	—	32	0,229	31	0,227	—	—	36	0,229
—	—	P 9	0,23	34	0,2337	—	—	—	—	33	0,238	—	—
24	0,240	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	35	0,241
—	—	P 8	0,25	33	0,2540	31	0,254	30	0,255	32	0,258	—	—
—	—	P 7	0,27	32	0,2743	—	—	—	—	31	0,278	34	0,264
22	0,280	P 6	0,28	31	0,2946	—	—	29	0,286	—	—	—	—
—	—	P 5	0,30	—	—	30	0,305	—	—	—	—	33	0,300
—	—	—	—	30	0,3150	—	—	—	—	30	0,318	—	—
20	0,320	—	—	—	—	29	0,330	28	0,321	—	—	32	0,325
—	—	P 4	0,34	29	0,3454	—	—	—	—	—	—	31	0,335
—	—	—	—	—	—	28	0,356	—	—	29	4,357	30	0,356
18	0,360	—	—	—	—	—	—	27	0,361	—	—	—	—
—	—	P 3	0,37	28	0,3759	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	28	0,397	29	0,381
16	0,400	—	—	27	0,4166	27	0,406	26	0,405	—	—	28	0,411
—	—	P 2	0,42	—	—	—	—	—	—	27	0,437	—	—
14	0,440	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	27	0,439
—	—	—	—	26	0,457	26	0,457	25	0,455	—	—	—	—
—	—	P 1	0,46	—	—	—	—	—	—	26	0,476	26	0,460
12	0,480	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	P 0	0,50	25	0,508	25	0,508	—	—	—	—	—	—
10	0,530	—	—	—	—	—	—	24	0,511	—	—	25	0,518
8	0,558	—	—	24	0,558	24	0,558	—	—	25	0,556	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	23	0,573	—	—	24	0,584
—	—	1	0,6	23	0,610	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	23	0,635	22	0,644	24	0,635	23	0,65
—	—	2	0,7	22	0,711	22	0,711	21	0,723	23	0,714	22	0,73
—	—	3	0,8	21	0,813	21	0,813	20	0,812	22	0,794	21	0,81
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21	0,873	20	0,88
—	—	4	0,9	20	0,914	20	0,889	19	0,913	20	0,952	—	—
—	—	5	1	19	1,016	19	1,067	18	1,024	—	—	19	1,04
—	—	6	1,1	—	—	—	—	17	1,150	19	1,111	—	—
—	—	7	1,2	18	1,219	18	1,245	16	1,291	18	1,270	18	1,21
—	—	8	1,3	—	—	—	—	—	—	—	—	17	1,37
—	—	9	1,4	17	1,422	17	1,473	15	1,450	17	1,429	—	—
—	—	10	1,5	—	—	—	—	—	—	16	1,588	16	1,59
—	—	11	1,6	16	1,626	16	1,651	14	1,628	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15	1,786	—	—
—	—	12	1,8	15	1,829	15	1,829	13	1,828	14	1,984	15	1,83
—	—	13	2	14	2,032	—	—	12	2,053	—	—	14	2,03
—	—	—	—	—	—	14	2,108	—	—	—	—	—	—
—	—	14	2,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	13	2,337	—	—	11	2,305	13	2,381	13	2,38
—	—	15	2,4	—	—	13	2,413	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	10	2,588	—	—	—	—
—	—	—	—	12	2,642	—	—	—	—	—	—	12	2,69
—	—	16	2,7	—	—	12	2,769	—	—	12	2,778	—	—
—	—	—	—	11	2,946	—	—	9	2,906	—	—	—	—
—	—	17	3	—	—	11	3,048	—	—	11	3,175	11	3,06
—	—	—	—	10	3,251	—	—	8	3,264	—	—	—	—
—	—	18	3,4	—	—	10	3,404	—	—	10	3,572	10	3,43
—	—	—	—	9	3,658	9	3,759	7	3,665	—	—	9	3,77
—	—	19	3,9	8	4,064	8	4,191	6	4,115	9	3,969	8	4,11
—	—	20	4,4	7	4,470	—	—	—	—	8	4,366	—	—
—	—	—	—	—	—	7	4,572	—	—	—	—	7	4,50
—	—	—	—	6	4,877	—	—	5	4,621	7	4,762	6	4,88
—	—	21	4,9	—	—	6	5,156	4	5,189	6	5,159	—	—

Cuadrado de acero estirado, con tolerancia h 11



Designación: **s UNI 472**

En la tabla se indican además las tolerancias para cada medida.

Dimensiones unificadas (las de caracteres finos sólo se emplearán en caso de necesidad) y peso por metro.

s mm	Peso por metro kg	s mm	Peso por metro kg	s mm	Peso por metro kg	s mm	Peso por metro kg	s mm	Peso por metro kg	s mm	Peso por metro kg
3	0,0706	**7**	0,385	**14**	1,54	**22**	3,80	**36**	10,2	**60**	28,3
3,5	0,0962	**8**	0,502	**15**	1,77	**24**	4,52	40	12,6	**65**	33,2
4	0,126	**9**	0,636	16	2,01	**25**	4,91	**41**	13,2	**70**	38,5
4,5	0,159	**10**	0,785	**17**	2,27	**27**	5,72	45	15,9	**75**	44,2
5	0,196	**11**	0,950	**18**	2,54	**30**	7,06	**46**	16,6	**80**	50,2
5,5	0,237	**12**	1,13	**19**	2,83	**32**	8,04	**50**	19,6	—	—
6	0,283	13	1,33	**20**	3,14	35	9,62	**55**	23,7	—	—

Barras cuadradas laminadas en caliente

(De la tabla UNI 709)

La tolerancia es de ± 0,25 para las de 5 a 20 mm; de ± 0,5 para las de 22 a 32 mm; de ± 0,75 para las de 35 a 50 mm; de ± 1 para las de 53 a 80 mm; de ± 1,75 para las de 85 a 100 mm; de ± 2 mm para las de 110 a 120; de ± 2,5 mm para las de 130 a 150 mm.

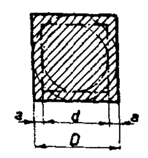
Designación: **s UNI 709.**

Medidas unificadas (lado en mm); las medidas indicadas en caracteres finos sólo se emplearán excepcionalmente, en caso de necesidad.

s = **5**; **6**; **7**; **8**; **9**; **10**; **11**; **12**; **13**; 14; **15**; **16**; 17; **18**; 19; **20**; **22**; **24**; **25**; 26; **27**; **28**; **30**; **32**; **35**; **38**; **40**; **42**; **45**; **48**; **50**; 53; **55**; 58; **60**; 63; **65**; 68; **70**; 73; **75**; 78; **80**; **85**; **90**; **100**; **110**; **120**; **130**; **140**; **150**.

Barras cuadradas de acero forjadas

En la tabla UNI 3030 están unificadas la medida **s**, las tolerancias, el metal a rebajar, el lado de la sección resultante del mecanizado en frío, la sección bruta y mecanizada, el peso por metro, bruto y mecanizado.



Designación: **Barra s UNI 3030.** Ejemplo: **Barra 44 UNI 3030.**

Medidas unificadas:

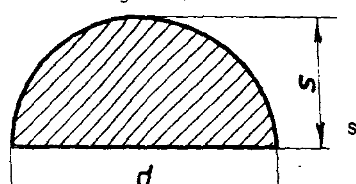
D mm = **20; 21; 23; 26; 28; 30; 32; 35; 37; 39; 41; 44; 46; 49; 51; 54; 57; 60; 62; 65; 71; 76; 82; 87; 93; 98; 104; 109; 114; 120; 125; 131; 136; 142; 147; 153; 164; 169; 174; 180; 185; 190; 196; 201; 212; 223; 233; 244; 255; 265; 276; 287; 297; 308; 319; 329; 340; 350; 361; 371; 382; 392; 403; 414; 424; 436; 445; 456; 466; 477; 487; 498.**

Tabla 283

Barras semirredondas de acero, laminadas en caliente

(De la tabla UNI 828-829)

Regulares



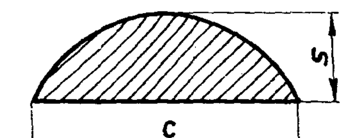
$s = \frac{d}{2}$

Designación: **d UNI 828.**

Medidas unificadas (en mm);

d = (8); 10; 12; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 60; 75.

Rebajadas



Designación: **d × s UNI 829.**

Medidas unificadas (en mm);

12 × 4 15 × 4 20 × 4 25 × 6 30 × 8 35 × 10
15 × 5 20 × 5 25 × 8 30 × 10 35 × 12
15 × 6 20 × 6 25 × 10 30 × 12 35 × 15
20 × 8

40 × 10 50 × 12 60 × 15 70 × 18 80 × 30
40 × 12 50 × 15 60 × 20 70 × 25
40 × 15 50 × 20

Tabla 284

Barras planas de acero estiradas (tolerancia h 11)

Espesores: 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 15; 18; 20; 25 mm.

Están unificadas las medidas siguientes:

(De las tablas UNI 757-759)

Anchura mm	Espesor mm	Anchura mm	Espesor mm	Anchura mm	Espesor mm	Anchura mm	Espesor mm
4	de 2 a 3	14	de 2 a 10	24	de 2 a 18	45	de 5 a 25
5	» 2 » 3	(15)	» 2 » 10	25	» 2 » 20	50	» 5 » 25
6	» 2 » 4	16	» 2 » 12	28	» 3 » 20	55	» 5 » 25
8	» 2 » 6	18	» 2 » 12	30	» 3 » 20	60	» 5 » 25
10	» 2 » 8	20	» 2 » 15	35	» 3 » 20	65	» 5 » 25
12	» 2 » 8	22	» 2 » 15	40	» 3 » 25	70	» 5 » 25

Barras planas de acero forjadas

Unificadas en la tabla UNI 3147 que indica la tolerancia en **L** y en **H**, el metal a rebajar y las correspondientes medidas después del mecanizado.

Designación: **L × H UNI 3147.**

Para **L** y **H** se consideran las siguientes medidas en mm:

L y **H** = 15; 16; 17; 18; 19; 22; 24; 26; 29; 31; 32; 36; 38; 40; 42; 45; 47; 49; 52; 55; 58; 60; 63; 68; 71; 77; 82; 88; 94; 99; 105; 110; 116; 121; 127; 132; 138; 143; 148; 154; 159; 165; 170; 176; 181; 186; 192; 197; 202; 213; 223; 234; 245; 255; 266; 276; 287; 297; 308; 319; 329; 340; 350; 361; 371; 382; 393; 403; 414; 424;435; 445; 456; 467; 477; 488; 498.

Tabla 285

Planchas de acero laminadas en caliente

Designación: **anchura × espesor UNI 720.**

Ejemplo: **800 × 25 UNI 720.**

Unificadas en la tabla UNI 720. Se han previsto:

Espesores: **7; 8; 9; 10; 12; 15; 18; 20; 22; 25; 30; 35; 40; 45; 50 mm.**

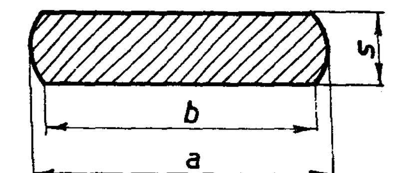
Anchuras: **: 220; 250; 280; 300; 320; 350; 380; 400; 450; 500; 550; 600; 650; 700; 750; 800; 850; 900; 950; 1000 mm.**

El espesor 7 mm es sólo para anchuras hasta 350 mm.
El espesor 8 mm es sólo para anchuras hasta 450 mm.
El espesor 9 mm es sólo para anchuras hasta 600 mm.

Barras planas redondeadas de acero laminado en caliente

Designación: **anchura × espesor UNI 724.**

Ejemplo: **55 × 20 UNI 724.**



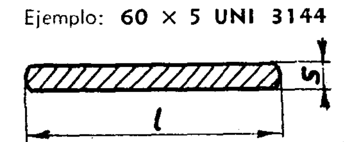
Unificadas en la tabla UNI 724. Se han previsto los siguientes espesores unificados:
Espesores: 12; 15; 18; 20; 22; 25; 30; 35 mm.
Las medidas unificadas son las siguientes:

a mm	b mm	s mm	a mm	b mm	s mm
40	34	12; 15; 18; 20	70	62	18; 20; 22; 25; 30
45	38	12; 15; 18; 20; 22	80	72	18; 20; 22; 25; 30; 35
50	43	12; 15; 18; 20; 22; 25	90	82	20; 22; 25; 30; 35
55	47	12; 15; 18; 20; 22; 25; 30	100	92	20; 22; 25; 30; 35
60	52	12; 15; 18; 20; 22; 25; 30	120	112	20; 22; 25; 30; 35

Tabla 286

Flejes laminados en caliente

Ejemplo: **60 × 5 UNI 3144**



Designación: anchura × espesor **UNI 3144.**
Medidas unificadas: **UNI 3144.**
Espesores unificados: mm 1; 1,2; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 6.
Anchuras dentro de los límites de espesores abajo indicados:

Espesores mm	Anchuras mm	Espesores mm	Anchuras mm
de 1 a 3,5	10; 12; 15; 18; 20; 22; 25; 30; 35	de 1,5 a 6	90; 100
» 1 » 4	40; 45	» 2 » 6	110; 120; 130; 140; 150; 160; 170; 180; 190; 200; 220
» 1 » 6	50; 60	» 2,5 » 6	240; 260; 280; 300; 320; 350
» 1,2 » 6	70; 80	» 3 » 6	380; 400; 450; 500

Tabla de los pesos de las barras planas de acero

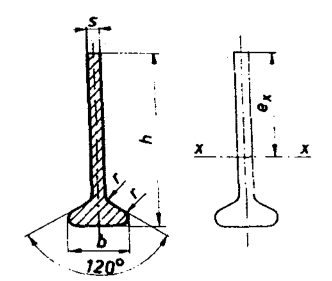
Barras planas de acero, laminadas en caliente.

Las medidas están unificadas en las tablas **UNI 713-719.** Los pesos y las medidas unificadas para las dimensiones desde 10 × 4 hasta 150 × 25 están recopiladas en la tabla que sigue:

Designación: **anchura × espesor UNI 713.** Ejemplo: **45 × 8 UNI 713.**

Anchura mm	Espesores (mm)														
	4	5	6	7	8	9	10	12	14	15	16	18	20	22	25
10	0,314	0,392	0,471	0,550											
12	0,377	0,471	0,565	0,659											
14	0,440	0,550	0,659	0,769	0,879	0,989									
15	0,471	0,589	0,706	0,824	0,942	1,06									
16	0,502	0,628	0,754	0,879	1,00	1,13	1,26								
18	0,565	0,706	0,848	0,989	1,13	1,27	1,41								
20	0,628	0,785	0,942	1,10	1,26	1,41	1,57	1,88	2,20	2,36					
22	0,691	0,864	1,04	1,21	1,38	1,55	1,73	2,07	2,42	2,59					
25	0,785	0,981	1,18	1,37	1,57	1,77	1,96	2,36	2,75	2,94					
27	0,848	1,06	1,27	1,48	1,70	1,91	2,12	2,54	2,97	3,18	3,39	3,82	4,24		
30	0,942	1,18	1,41	1,65	1,88	2,12	2,36	2,83	3,30	3,53	3,77	4,24	4,71		
32	1,00	1,26	1,51	1,76	2,01	2,26	2,51	3,01	3,52	3,77	4,02	4,52	5,02		
35	1,10	1,37	1,65	1,92	2,20	2,47	2,75	3,30	3,85	4,12	4,40	4,95	5,50	6,04	6,87
37	1,16	1,45	1,74	2,03	2,32	2,61	2,90	3,49	4,07	4,36	4,65	5,23	5,81	6,39	7,26
40	1,26	1,57	1,88	2,20	2,51	2,83	3,14	3,77	4,40	4,71	5,02	5,65	6,28	6,91	7,85
42	1,32	1,65	1,98	—	2,64	2,97	3,30	3,96	—	4,95	—	—	6,59	—	8,24
45	1,41	1,77	2,12	2,47	2,83	3,18	3,53	4,24	4,95	5,30	5,65	6,36	7,06	7,77	8,83
47	1,48	1,84	2,21	—	2,95	3,32	3,69	4,43	—	5,53	—	—	7,38	—	9,22
50	1,57	1,96	2,36	2,75	3,14	3,53	3,92	4,71	5,50	5,89	6,28	7,06	7,85	8,64	9,81
52	1,63	2,04	2,45	—	3,27	3,67	4,08	4,90	—	6,12	—	—	8,16	—	10,2
55	1,73	2,16	2,59	3,02	3,45	3,89	4,32	5,18	6,04	6,48	6,91	7,77	8,64	9,50	10,8
60	1,88	2,36	2,83	3,30	3,77	4,24	4,71	5,65	6,59	7,06	7,54	8,48	9,42	10,4	11,8
62	1,95	2,45	2,92	—	3,89	4,38	4,87	5,84	—	7,30	—	—	9,73	—	12,2
65	2,04	2,55	3,06	—	4,08	4,59	5,10	6,12	—	7,65	—	—	10,2	—	12,8
67	2,10	2,63	3,16	—	4,21	4,73	5,26	6,31	—	7,89	—	—	10,5	—	13,1
70	2,20	2,75	3,36	3,85	4,40	4,95	5,50	6,59	7,69	8,24	8,79	9,89	11,0	12,1	13,7
75	2,36	2,94	3,53	—	4,71	5,30	5,89	7,06	—	8,38	—	—	11,8	—	14,7
80	2,51	3,14	3,77	4,40	5,02	5,65	6,28	7,54	8,79	9,42	10	11,3	12,6	13,8	15,7
85	2,67	3,34	4,00	—	5,34	6,01	6,67	8,01	—	10	—	—	13,3	—	16,7
90	2,83	3,53	4,24	4,95	5,65	6,36	7,06	8,48	9,89	10,6	11,3	12,7	14,1	15,5	17,7
95	2,98	3,73	4,47	—	5,97	6,71	7,46	8,95	—	11,2	—	—	14,9	—	18,6
100	3,14	3,92	4,71	0,50	6,28	7,06	7,85	9,42	11	11,8	12,6	14,1	15,7	17,3	19,6
110	3,45	4,32	5,18	6,04	6,91	7,77	8,64	10,4	12,1	13	13,8	15,5	17,3	19	21,6
120	3,77	4,71	5,65	6,59	7,54	8,48	9,42	11,3	13,2	14,1	15,1	17	18,8	20,7	23,6
130	4,08	5,10	6,12	7,14	8,16	9,18	10,2	12,2	14,3	15,3	16,3	18,4	20,4	22,5	25,5
140	4,40	5,50	6,59	7,69	8,79	9,89	11	13,2	15,4	16,5	17,6	19,8	22	24,2	27,5
150	4,71	5,89	7,06	8,24	9,42	10,6	11,8	14,1	16,5	17,7	18,8	21,2	23,6	25,9	29,4

Barras planas de acero laminado en caliente, con nervio (De la tabla UNI 1078-79)



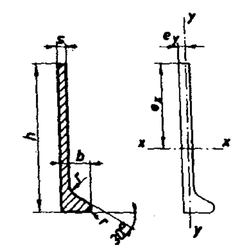
Designación: **h × s UNI 1078**
o bien **⊥ h × s**

Ejemplo: **180 × 9 UNI 1078**
o bien **⊥ 280 × 9**

h × s mm mm	b mm	r mm	Sección cm²	Situación del baricentro e_x cm	Momentos de inercia		Módulo de resistencia	
					J_x cm⁴	J_y cm⁴	W_x cm³	W_y cm³
60 × 4	24	4	4,17	4,06	13,7	0,84	3,38	0,70
60 × 5	25	4	4,77	3,93	16,1	0,99	4,11	0,79
60 × 6	26	4	5,37	3,83	18,4	1,16	4,81	0,89
80 × 4,5	26,5	4	5,62	5,25	35,1	1,19	6,69	0,90
80 × 5,5	27,5	4	6,42	5,10	40,5	1,39	7,94	1,01
80 × 6,5	28,5	4	7,22	4,98	45,6	1,61	9,17	1,13
100 × 5	29	4	7,27	6,40	73,2	1,63	11,4	1,12
100 × 6	30	4	8,28	6,24	83,3	1,89	13,3	1,26
100 × 7	31	4	9,27	6,09	92,8	2,18	15,2	1,40
120 × 5,5	31,5	5	9,52	7,65	138	2,50	18	1,59
120 × 6,5	32,5	5	10,7	7,46	155	2,86	20,8	1,76
120 × 7,5	33,5	5	11,9	7,32	172	3,27	23,5	1,95
140 × 6	34	5	11,6	8,76	232	3,23	26,4	1,91
140 × 7	35	5	13	8,58	259	3,72	30,2	2,13
140 × 8	36	5	14,4	8,42	285	4,22	33,6	2,34
160 × 7	39	6	15,5	10	404	4,68	40,2	2,40
160 × 8	40	6	17,1	9,83	444	6,50	45,1	3,25
160 × 9	41	6	18,7	9,68	483	7,26	49,9	3,54
180 × 8	44	7	20	11,3	656	9,49	58,1	4,32
180 × 9	45	7	21,8	11,1	714	10,6	64,3	4,72
180 × 10	46	7	23,6	10,9	771	11,7	70,5	5,11
200 × 9	49	8	25	12,5	1010	15,1	80,9	6,15
200 × 10	50	8	27	12,4	1090	16,5	88,4	6,58
200 × 11	51	8	29	12,2	1170	17,9	95,9	7,05
220 × 10	54	9	30,7	13,8	1500	22,6	109	8,36
220 × 11	55	9	32,9	13,6	1610	24,5	118	8,89
220 × 12	56	9	35,1	13,5	1710	26,5	127	9,46
240 × 11	59	10	36,9	15,1	2140	32	142	10,9
240 × 12	60	10	39,3	14,9	2280	35,1	153	11,7
240 × 13	61	10	41,7	14,7	2410	37,7	164	12,3
260 × 12	64	11	43,6	16,3	2970	45,5	182	14,2
260 × 13	65	11	46,2	16,1	3150	48,7	195	15
260 × 14	66	11	48,8	16	3320	52,1	208	15,8
280 × 13	69	12	50,9	17,6	4020	62	229	18
280 × 14	70	12	53,7	17,4	4240	66	244	18,9
280 × 15	71	12	56,5	17,2	4450	70,2	258	19,8
300 × 14	74	12	57,9	18,7	5270	78,8	282	21,3
300 × 15	75	12	60,9	18,5	5540	83,5	299	22,3
300 × 16	76	12	63,9	18,4	5800	88,6	316	23,3

(De la tabla UNI 3994)

Barras planas de acero laminadas en caliente, con nervio asimétrico



Designación: Barra h × s UNI 3994
Ejemplo: Barra 220 × 11 UNI 3994

Medidas unificadas

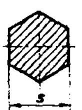
h × s	b mm	r mm	Sección cm²	Situación del baricentro e_x mm	Situación del baricentro e_y mm	Momentos de inercia J_x cm⁴	Momentos de inercia J_y cm⁴
160 × 7 160 × 8 160 × 9 160 × 10	22	6	14,6 16,2 17,8 19,4	9,66 9,50 9,37 9,27	0,64 0,68 0,71 0,75	373 411 449 485	5,85 6,55 7,32 8,16
180 × 8 180 × 9 180 × 10 180 × 11	25	7	18,9 20,7 22,5 24,3	10,89 10,73 10,57 10,45	0,74 0,77 0,81 0,84	609 663 717 767	9,9 10,9 12,1 13,3
200 × 9 200 × 10 200 × 11	28	8	23,6 25,6 27,6	12,12 11,96 11,82	0,84 0,87 0,90	942 1017 1091	15,8 17,2 18,8
220 × 10 220 × 11 220 × 12	31	9	29 31,2 33,4	13,35 13,19 13,04	0,93 0,96 1	1396 1496 1595	23,9 25,8 27,9
240 × 11 240 × 12 240 × 13	34	10	34,9 37,3 39,7	14,58 14,42 14,27	1,03 1,06 1,09	1997 2127 2256	34,8 37,4 40,2
260 × 12 260 × 13 260 × 14	37	11	41,3 43,9 46,5	15,8 15,6 15,5	1,13 1,16 1,19	2775 2941 3105	48,7 52,1 55,7
280 × 12 280 × 13 280 × 14	40	12	45,5 48,3 51	17,2 17 16,9	1,20 1,22 1,25	3541 3751 3959	63,3 67,4 71,7
300 × 13 300 × 14 300 × 15	43	13	52,7 55,8 58,8	18,4 18,2 18,1	1,30 1,33 1,36	4714 4974 5242	88 93,2 98,6
320 × 14 320 × 15 320 × 16 320 × 17	46	14	60,8 63,9 67,1 70,3	19,7 19,5 19,4 19,2	1,38 1,41 1,44 1,47	6170 6487 6794 7102	112,7 118,9 125,5 132,2
370 × 15,5 370 × 16,5 370 × 17,5 370 × 18,5	53,5	16,5	79 82,7 86,4 90,1	23,1 22,9 22,7 22,6	1,64 1,67 1,70 1,73	10859 11359 11850 12336	210,1 220,2 230,7 241,6
430 × 16,5 430 × 17,5 430 × 18,5 430 × 19,5 430 × 20,5	62,5	19,5	100,7 105 109,3 113,6 117,9	27,1 26,8 26,6 26,4 26,2	1,84 1,86 1,89 1,92 1,95	18453 19236 20024 20794 21558	348,1 363 378,1 393,7 409,4

Tab. 290

Hexagonal de acero

Estirado. Está unificado con tolerancia h 11 (**UNI 470**) para **s** desde 3 mm hasta 80 mm y h 9 (**UNI 471**) limitado a los valores de **s** de 3 a 7 mm.

Para la designación se indica la medida **s** seguida de la sigla UNI y del número de la tabla de referencia. Ejemplo: **14 UNI 470; 3,5 UNI 471.**

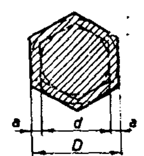


s mm	Peso por metro kg	s mm	Peso por metro kg	s mm	Peso por metro kg	s mm	Peso por metro kg	s mm	Peso por metro kg
3	0,0612	7	0,333	17	1,96	30	6,12	60	24,5
3,5	0,0833	8	0,435	19	2,45	32	6,96	65	28,7
4	0,109	9	0,551	21	3,00	36	8,81	70	33,3
4,5	0,138	10	0,680	22	3,29	41	11,4	75	38,2
5	0,170	11	0,823	24	3,92	46	14,4	80	43,5
5,5	0,206	12	0,979	26	4,60	50	17,0	—	—
6	0,245	14	2,33	27	4,96	55	20,6	—	—

Laminado en caliente. Unificado en la tabla **UNI 708.** Designación como arriba. Ejemplo: **29 UNI 708.**

Se han previsto las siguientes medidas en mm:
s = 9; 10; 11; 12; 13; 15; 18; 20; 22; 24;26; 28; 29; 32; 34; 38; 43; 48; 53; 58; 63; 68; 73; 78; 83. Tolerancia de ± 0,25 a ± 1,75.

Forjado. Unificado en la tabla **UNI 3031,** en la que se indican las tolerancias de ± 0,5 a ± 8 mm (al pasar de **D** = 20 a **D** = 329 mm), el metal a rebajar, las secciones, los pesos por metro y la medida **d** resultante del mecanizado mecánico en frío.



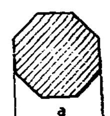
Se han previsto las siguientes medidas de **D** en mm:
D = 20; 21; 23; 26; 28; 30; 32; 35; 37; 39; 41; 44; 46; 49; 51; 54; 57; 60; 62; 65; 71; 76; 82; 87; 93; 98; 104; 109; 114; 120; 125; 131; 136; 142; 147; 153; 158; 164; 169; 174; 180; 185; 190; 196; 201; 212; 223; 244; 255; 265; 276; 287; 297; 308; 319; 329.

Designación: **Barra D UNI 3031.** Ejemplo: **Barra 142 UNI 3031.**

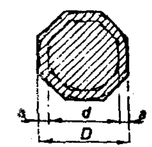
Tabla 291

Barras octogonales de acero

La tabla **UNI 2508** considera las barras laminadas en caliente y, para cada medida unificada, da la tolerancia, **la** sección y el peso por metro. El material **ha** de ser uno de los aceros **UNI 735.**



Laminadas UNI 2508
Designación: **Barra a UNI 2508.**



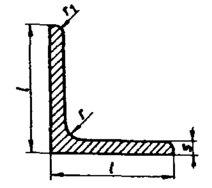
Forjadas UNI 3032
Designación: **Barra D UNI 3032.**

La tabla **UNI 3032** considera **las** barras forjadas y, para cada **medida** unificada, indica la tolerancia, el metal a rebajar **a,** las medidas **d** resultantes del mecanizado en frío, la **sección** bruta y neta, el peso por metro bruto y mecanizado. Las calidades del **acero** utilizable están todas **unificadas** (simples y especiales al carbono y aleados para forjar o en productos forjados); no están incluidos los aceros **especiales** para herramientas y los inoxidables.

UNI 2508: medidas en mm: **a** = 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 30; 32; 35; 38; 40; 42; 45; 48; 50

UNI 3032: medidas en mm: **D** = 20; 21; 23; 26; 28; 30; 32; 35; 37; 39; 41; 44; 46; 49; 51; 54; 57; 60; 62; 65; 71; 76; 82; 87; 93; 98; 104; 109; 114; 120; 125; 131; 136; 142; 147; 153; 158; 164; 169; 174; 180; 185; 190; 198; 201; 212; 223; 233; 244; 255; 265; 276; 287; 297; 308; 319; 329.

Perfiles en L de acero laminado en caliente. De lados iguales



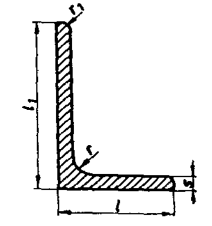
Designación: **l × s UNI 821**

Están además unificadas medidas mayores, hasta 200 × 24

l × s mm × mm	r mm	r_1 mm	Sección cm²	Peso por metro kg	Situación del baricentro $e_x = e_y$	$J_x = J_y$ cm⁴	J_m cm⁴	J_n cm⁴	$W_x = W_y$ cm³	W_m cm³	W_n cm³
15 × 3	3,5	2	0,819	0,643	0,472	0,151	0,237	0,065	0,147	0,223	0,097
20 × 3	3,5	2	1,12	1,12	0,596	0,388	0,613	0,163	0,276	0,433	0,193
20 × 4	3,5	2	1,45	1,14	0,635	0,488	0,765	0,211	0,358	0,541	0,234
25 × 3	3,5	2	1,42	1,11	0,721	0,796	1,26	0,331	0,448	0,714	0,324
25 × 4	3,5	2	1,85	1,45	0,761	1,01	1,60	0,426	0,582	0,903	0,396
30 × 3	5	2,5	1,74	1,36	0,835	1,40	2,22	0,585	0,649	1,05	0,496
30 × 4	5	2,5	2,27	1,78	0,878	1,80	2,85	0,754	0,850	1,34	0,607
30 × 5	5	2,5	2,78	2,16	0,918	2,16	3,41	0,917	1,04	1,61	0,706
35 × 4	5	2,5	2,67	2,09	1,00	2,95	4,68	1,23	1,18	1,89	0,865
35 × 6	5	2,5	3,87	3,04	1,08	4,13	6,50	1,75	1,71	2,63	1,15
40 × 4	6	3	3,08	2,42	1,12	4,47	7,09	1,86	1,55	2,51	1,17
40 × 5	6	3	3,79	2,97	1,16	5,43	8,59	2,26	1,91	3,04	1,38
40 × 6	6	3	4,48	3,52	1,20	6,31	9,98	2,65	2,26	3,53	1,56
45 × 5	7	3,5	4,30	3,38	1,28	7,84	12,4	3,26	2,43	3,90	1,80
45 × 7	7	3,5	5,86	4,60	1,36	10,4	16,4	4,38	3,31	5,16	2,28
50 × 5	7	3,5	4,80	3,77	1,40	11,0	17,4	4,55	3,05	4,92	2,29
50 × 6	7	3,5	5,69	4,47	1,45	12,8	20,4	5,34	3,61	5,76	2,61
50 × 7	7	3,5	6,56	5,15	1,49	14,6	23,1	6,11	4,16	6,54	2,91
55 × 6	8	4	6,31	4,95	1,56	17,3	27,4	7,18	4,39	7,04	3,25
55 × 8	8	4	8,23	6,46	1,64	22,0	34,8	9,24	5,72	8,96	3,98
60 × 6	8	4	6,91	5,42	1,69	22,8	36,2	9,46	5,29	8,52	3,96
60 × 8	8	4	9,03	7,09	1,77	29,2	46,1	12,2	6,89	10,9	4,86
65 × 7	9	4,5	8,70	6,83	1,85	33,4	53	13,9	7,18	11,5	5,31
65 × 9	9	4,5	11	8,62	1,93	41,4	65,4	17,3	9,05	14,2	6,35
70 × 7	9	4,5	9,4	7,38	1,97	42,3	67,1	17,5	8,42	13,6	6,28
70 × 9	9	4,5	11,9	9,34	2,05	52,5	83,1	21,8	10,6	16,8	7,52
75 × 8	10	5	11,5	9,03	2,13	58,9	93,3	24,4	11	17,6	8,10
75 × 10	10	5	14,1	11,1	2,21	71,2	113	29,7	13,5	21,2	8,49
80 × 8	10	5	12,3	9,66	2,26	72,2	115	29,9	12,6	20,3	9,37
80 × 10	10	5	15,1	11,9	2,34	87,5	139	36,4	15,5	24,5	11
80 × 12	10	5	17,9	14,1	2,41	102	161	42,7	18,2	28,4	12,5
90 × 9	11	5,5	15,5	12,2	2,54	116	184	47,9	17,9	28,9	13,3
90 × 11	11	5,5	18,7	14,7	2,62	138	218	57,2	21,6	34,3	15,4
90 × 13	11	5,5	21,8	17,1	2,70	150	250	66,2	25,1	39,3	17,4
100 × 10	12	6	19,2	15,1	2,82	177	280	73	24,6	39,6	18,3
700 × 12	12	6	22,7	17,8	2,90	207	328	85,7	29,1	46,3	20,9
100 × 14	12	6	26,2	20,6	2,98	235	372	98,2	33,5	52,6	23,3
110 × 10	12	6	21,2	16,6	3,07	239	379	98,3	30,1	48,7	22,6
110 × 12	12	6	25,1	19,7	3,15	280	444	116	35,7	57,1	25,9
120 × 11	13	6,5	25,4	19,9	3,36	341	541	140	39,4	63,7	29,6
120 × 13	13	6,5	29,7	23,3	3,44	394	625	163	46	73,7	33,5
120 × 15	13	6,5	33,9	26,6	3,51	445	705	185	52,4	83,1	37,1

Tabla 293

Perfiles en L de acero laminados en caliente de lados desiguales

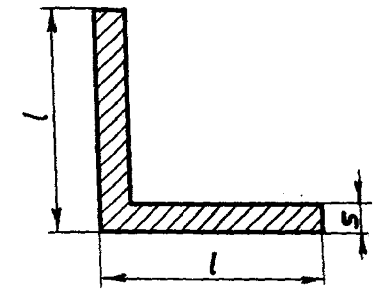


Designación: **l × l₁ × s UNI 824**

Las medidas unificadas alcanzan hasta 100 × 200 × 18 **(de UNI 824-827)**

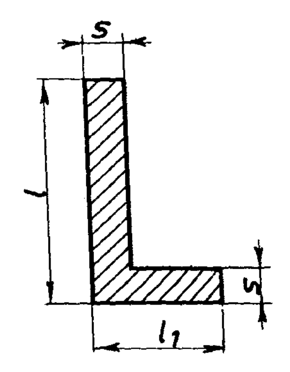
l × l₁ × s mm mm mm	r mm	r₁ mm	Sección cm²	Peso por metro kg	tg α	Situación del baricentro		Momentos de inercia		Módulos de resistencia		Radios de inercia	
						e_x	e_y	J_x mm⁴	J_y mm⁴	W_x mm³	W_y mm³	i_x cm	i_y cm
20 × 30 × 4	3,5	2	1,85	1,45	0,422	1,03	0,541	1,59	0,553	0,807	0,379	0,926	0,547
20 × 30 × 5	3,5	2	2,26	1,77	0,412	1,07	0,579	1,90	0,656	0,984	0,461	0,916	0,539
20 × 35 × 4	3,5	2	2,05	1,61	0,318	1,25	0,508	2,46	0,576	1,09	0,386	1,10	0,530
20 × 35 × 5	3,5	2	2,51	1,97	0,309	1,29	0,546	2,95	0,685	1,33	0,471	1,08	0,523
20 × 40 × 4	3,5	2	2,25	1,77	0,252	1,47	0,481	3,59	0,596	1,42	0,392	1,26	0,515
20 × 40 × 5	3,5	2	2,76	2,17	0,245	1,51	0,519	4,32	0,710	1,73	0,480	1,25	0,507
25 × 40 × 4	3,5	2	2,45	1,92	0,382	1,37	0,623	3,88	1,17	1,47	0,622	1,26	0,690
25 × 40 × 5	3,5	2	3,01	2,36	0,375	1,40	0,661	4,68	1,39	1,80	0,756	1,25	0,680
30 × 45 × 4	4,5	2	2,87	2,25	0,433	1,48	0,740	5,78	2,05	1,91	0,908	1,42	0,846
30 × 45 × 5	4,5	2	3,53	2,77	0,428	1,52	0,779	6,99	2,47	2,35	1,11	1,41	0,836
30 × 45 × 6	4,5	2	4,17	3,27	0,423	1,56	0,817	8,12	2,85	2,76	1,30	1,40	0,827
30 × 50 × 5	4,5	2	3,78	2,96	0,353	1,73	0,744	9,41	2,54	2,88	1,12	1,58	0,820
30 × 50 × 6	4,5	2	4,47	3,51	0,348	1,77	0,782	11,0	2,93	3,39	1,32	1,57	0,792
30 × 60 × 5	6	3	4,29	3,37	0,256	2,15	0,681	15,6	2,60	4,04	1,12	1,90	0,779
30 × 60 × 6	6	3	5,08	3,99	0,252	2,20	0,721	18,2	3,02	4,78	1,32	1,89	0,771
40 × 60 × 5	6	3	4,79	3,76	0,435	1,96	0,972	17,2	6,11	4,25	2,02	1,89	1,13
40 × 60 × 6	6	3	5,68	4,46	0,431	2,00	1,01	20,1	7,12	5,03	2,38	1,88	1,12
40 × 60 × 7	6	3	6,55	5,14	0,427	2,04	1,05	23	8,07	5,79	2,74	1,87	1,11
40 × 80 × 6	7	3,5	6,89	5,41	0,261	2,85	0,884	44,9	7,59	8,73	2,44	2,55	1,05
40 × 80 × 8	7	3,5	9,01	7,07	0,253	2,94	0,963	57,6	9,61	11,4	3,16	2,53	1,03
50 × 65 × 6	6,5	3,5	6,58	5,16	0,575	2,03	1,29	27,1	13,9	8,06	3,74	2,03	1,45
50 × 65 × 7	6,5	3,5	7,60	5,96	0,573	2,07	1,33	31	15,8	6,99	4,31	2,02	1,44
50 × 75 × 6	7	3,5	7,19	5,65	0,435	2,44	1,21	40,5	14,4	8,01	3,81	2,37	1,42
50 × 75 × 7	7	3,5	8,31	6,53	0,433	2,48	1,25	46,4	16,5	9,24	4,39	2,36	1,41
50 × 75 × 9	7	3,5	10,5	8,22	0,427	2,57	1,33	57,4	20,2	11,6	5,50	2,34	1,39
50 × 100 × 8	9	4,5	11,4	8,99	0,257	3,59	1,12	116	19,5	18,1	5,03	3,18	1,31
50 × 100 × 10	9	4,5	14,1	11,1	0,253	3,67	1,20	141	23,4	22,2	6,17	3,16	1,29
60 × 80 × 7	7	3,5	9,36	7,35	0,547	2,52	1,53	59,2	28,5	10,8	6,38	2,51	1,75
60 × 80 × 8	7	3,5	10,6	8,33	0,545	2,56	1,57	66,5	31,9	12,2	7,20	2,50	1,73
60 × 80 × 10	7	3,5	13,1	10,2	0,540	2,63	1,64	80,2	38,3	14,9	8,86	2,48	1,71
60 × 90 × 7	7	3,5	10,1	7,90	0,437	2,93	1,45	82,3	29,5	13,6	6,47	2,86	1,71
60 × 90 × 8	7	3,5	11,4	8,96	0,435	2,97	1,49	92,5	33	15,3	7,31	2,85	1,70
60 × 90 × 10	7	3,5	14,1	11	0,430	3,05	1,56	112	39,6	18,8	8,92	2,82	1,68
60 × 120 × 8	10	5	13,9	10,9	0,260	4,24	1,29	205	34,9	26,4	7,40	3,84	1,59
60 × 120 × 10	10	5	13,4	13,4	0,257	4,33	1,37	250	42,1	32,5	8,09	3,82	1,57
65 × 100 × 7	10	5	11,2	8,77	0,415	3,23	1,51	113	37,6	16,6	7,54	3,17	1,84
65 × 100 × 9	10	5	14,1	11,1	0,412	3,32	1,59	141	46,7	21,0	9,52	3,15	1,82
65 × 100 × 11	10	5	17	13,4	0,408	3,40	1,67	167	55,1	25,3	11,4	3,13	1,80
65 × 130 × 8	11	5,5	15,1	11,9	0,261	4,56	1,37	263	44,8	31,1	8,72	4,17	1,72
65 × 130 × 10	11	5,5	18,6	14,6	0,258	4,65	1,45	321	54,2	38,4	10,7	4,15	1,71
65 × 130 × 12	11	5,5	22,1	17,3	0,254	4,74	1,53	375	63,0	45,4	12,7	4,12	1,69

Perfiles en L de acero laminados en caliente, tipos de cantos vivos



UNI 737
de lados iguales

Designación: **L × s UNI 737**
Ejemplo: **40 × 6 UNI 737**



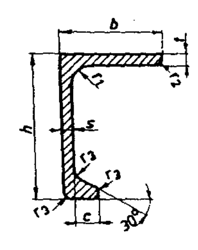
UNI 738
de lados desiguales

l × s mm × mm	Sección cm²	Peso por metro kg	l × s mm × mm	Sección cm²	Peso por metro kg
15 × 3	0,810	0,636	40 × 5	3,75	2,94
15 × 3,5	0,928	0,728	40 × 6	4,44	3,49
20 × 3	1,11	0,871	45 × 5	4,25	3,34
20 × 4	1,44	1,13	45 × 6	5,04	3,96
25 × 3	1,41	1,11	45 × 6,5	5,43	4,26
25 × 4	1,84	1,44	50 × 5	4,75	3,73
25 × 4,5	2,05	1,61	50 × 6	5,64	4,43
30 × 3	1,71	1,34	50 × 7	6,51	5,11
30 × 4	2,24	1,76	55 × 6	6,24	4,90
30 × 5	2,75	2,16	55 × 7	7,21	5,66
35 × 4	2,64	2,07	60 × 6	6,84	5,37
35 × 5	3,25	2,55	60 × 7	7,91	6,21
35 × 5,5	3,55	2,78	60 × 8	8,96	7,03
40 × 4	3,04	2,39			

l mm	l_1	s	Sección cm²	Peso por metro kg
20	12	4	1,12	0,879
25	15	4,5	1,60	1,25
30	17,5	5	2,12	1,67
35	20	5,5	2,72	2,14
40	22	6	3,36	2,64
45	30	6,5	4,45	3,50
50	30	7	5,11	4,01

Designación:
L UNI 738

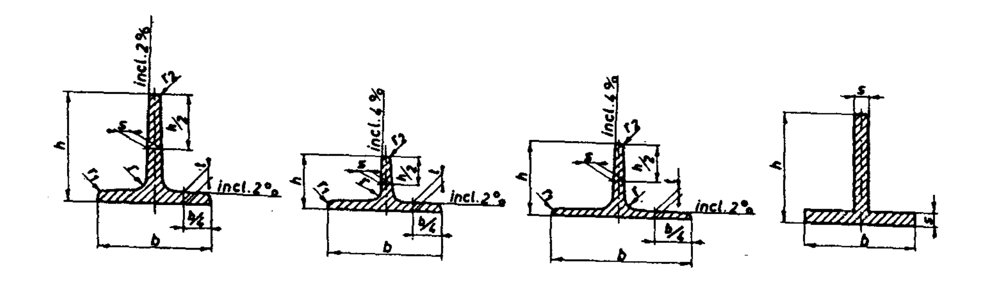
Perfiles en L con nervio de acero, laminados en caliente



La tabla **UNI 1080-1083** unifica las dimensiones, los momentos de inercia y los módulos de resistencia de los perfiles representados en la figura. No se reproduce dicha tabla por su complejidad.

Perfiles en T de acero, laminados en caliente, series normales y especial

serie b = h — serie b = 2h — serie especial — de cantos vivos



Designaciones:

- **b UNI 731** o bien **T b**
- **b UNI 733** o bien **T b × h**
- **b UNI 734** o bien **T_s b**
- **b UNI 739** o bien **T_v b**

Serie	b mm	h mm	s mm	t mm	r mm	r_1 mm	r_2 mm	Sección cm²	Peso por m kg	Situac. baricentro e_x cm	Momentos de inercia J_x cm⁴	J_y cm⁴	Módulos de resistencia W_x	W_y	Radios de inercia i_x	i_y
Normal b = h	20	20	3	3	3	1,5	1	1,12	0,878	0,581	0,380	0,194	0,268	0,194	0,583	0,416
	25	25	3,5	3,5	3,5	2	1	1,64	1,28	0,718	0,863	0,435	0,484	0,348	0,726	0,515
	30	30	4	4	4	2	1	2,26	1,77	0,853	1,72	0,868	0,802	0,578	0,874	0,620
	35	35	4,5	4,5	4,5	2,5	1	2,96	2,33	0,990	3,09	1,53	1,23	0,877	1,02	0,720
	40	40	5	5	5	2,5	1	3,77	2,96	1,12	5,16	2,57	1,79	1,28	1,17	0,825
	45	45	5,5	5,5	5,5	3	1,5	4,66	3,66	1,26	8,05	3,99	2,48	1,77	1,31	0,925
	50	50	6	6	6	3	1,5	5,67	4,45	1,39	12,1	6,01	3,35	2,40	1,46	1,03
	60	60	7	7	7	3,5	2	7,94	6,23	1,66	24,4	12,1	5,62	4,03	1,75	1,23
	70	70	8	8	8	4	2	10,6	8,32	1,93	44,5	22	8,78	6,27	2,05	1,44
	80	80	9	9	9	4,5	2	13,6	10,7	2,20	74,9	36,9	12,9	9,21	2,34	1,64
	90	90	10	10	10	5	2,5	17,1	13,4	2,47	118	58,3	18,1	13	2,64	1,85
	100	100	11	11	11	5,5	3	20,9	16,4	2,74	179	87,9	24,6	17,6	2,93	2,05
Normal b = 2h	60	30	5,5	5,5	5,5	3	1,5	4,64	3,65	0,674	2,55	9,36	1,10	3,12	0,741	1,42
	180	90	14,5	14,5	14,5	7,5	3,5	37	29,0	1,93	184	668	26	74,2	2,23	4,25
Especial	80	60	7,5	7	7,5	4	1	9,53	7,48	1,46	25,9	28,3	5,70	7,07	1,65	1,72
	100	60	8,75	8,65	8	5	2	13	10,2	1,36	31,8	67,9	6,85	13,6	1,56	2,28
	150	80	12,5	9	12	6	4	22,3	17,5	1,88	107	236	17,4	31,5	2,19	3,25
De canto vivo	20	20	4					1,44	1,13	0,644	0,503	0,275	0,371	0,275	0,591	0,437
	25	25	4,5					2,05	1,61	0,788	1,13	0,601	0,662	0,481	0,744	0,542
	30	30	5					2,75	2,16	0,932	2,22	1,15	1,07	0,767	0,897	0,647
	35	35	5,5					3,55	2,78	1,08	3,92	2,01	1,62	1,15	1,05	0,752
	40	40	6					4,44	3,49	1,22	6,45	3,26	2,32	1,63	1,21	0,857
	45	45	6,5					5,43	4,26	1,36	10	5,02	3,20	2,23	1,36	0,962
	50	50	7					6,51	5,11	1,51	14,9	7,41	4,26	2,97	1,51	1,07
	60	60	8					8,96	7,03	1,79	29,7	14,6	7,06	4,87	1,82	1,28
	70	70	9					11,8	9,26	2,08	53,4	26,1	10,9	7,46	2,13	1,49
	80	80	10					15	11,8	2,37	89	43,2	15,8	10,8	2,44	1,70
	90	90	10					17	13,3	2,62	129	61,4	20,2	13,6	2,76	1,90
	100	100	11					20,8	16,3	2,90	195	92,7	27,5	18,5	3,06	2,11

Perfiles en U de acero laminado en caliente

Serie normal

UNI 727-28

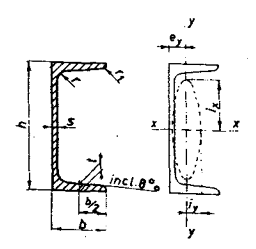
$b \simeq 0{,}25\ h + 25$

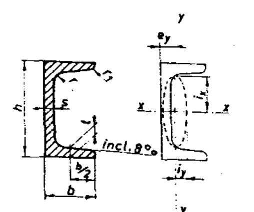
Designación (serie normal)

h UNI 727

o bien ⊔ h

Ej.: 160 UNI 727 o ⊔ 160





Serie especial

UNI 729-30

Designación (serie especial)

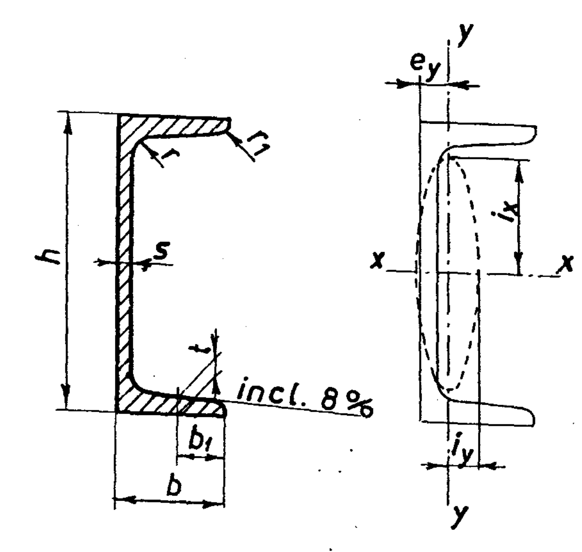
h UNI 729

o bien ⊔ s h

Serie	h mm	b mm	s mm	t mm	r mm	r_1 mm	Sección cm²	Peso por m kg	Situac. baricentro e_y cm	Momentos de inercia J_x cm⁴	J_y cm⁴	Módulos de resistencia W_x	W_y	Radios de inercia i_x cm	i_y cm
Normal	30	33	5	7	7	3,5	5,44	4,27	1,34	6,39	5,10	4,26	2,60	1,08	0,968
	40	35	5	7	7	3,5	6,21	4,88	1,33	14,1	6,68	7,07	3,08	1,51	1,04
	50	38	5	7	7	3,5	7,12	5,59	1,37	26,5	9,10	10,6	3,74	1,93	1,13
	65	42	5,5	7,5	7,5	4	9,03	7,09	1,42	57,5	14	17,7	5,05	2,52	1,25
	80	45	6	8	8	4	11	8,65	1,45	106	19,4	26,5	6,35	3,10	1,33
	100	50	6	8,5	8,5	4,5	13,5	10,6	1,55	205	29,1	41,1	8,45	3,91	1,47
	120	55	7	9	9	4,5	17	13,3	1,61	364	43,1	60,7	11,1	4,63	1,59
	140	60	7	10	10	5	20,4	16,0	1,76	605	62,5	86,4	14,7	5,45	1,75
	160	65	7,5	10,5	10,5	5,5	24	18,9	1,84	925	85,1	116	18,2	6,21	1,88
	180	70	8	11	11	5,5	28	22	1,93	1354	114	150	22,4	6,96	2,01
	200	75	8,5	11,5	11,5	6	32,2	25,3	2,01	1911	148	191	26,9	7,71	2,14
	220	80	9	12,5	12,5	6,5	37,4	29,4	2,14	2691	196	245	33,5	8,48	2,29
	240	85	9,5	13	13	6,5	42,3	33,2	2,24	3599	247	300	39,5	9,22	2,42
	260	90	10	14	14	7	48,3	37,9	2,37	4824	317	371	47,8	10	2,56
	280	95	10	15	15	7,5	53,4	41,9	2,53	6276	398	448	57,2	10,8	2,73
	300	100	10	16	16	8	58,8	46,1	2,70	8028	493	535	67,6	11,7	2,90
Especial	25	12	4	4	4	2	1,66	1,30	0,420	1,24	0,171	0,991	0,219	0,864	0,321
	30	15	5	5	5	2,5	2,53	1,98	0,532	2,71	0,411	1,81	0,424	1,04	0,403
	35	17	5,5	5,5	5,5	3	3,21	2,52	0,589	4,75	0,665	2,71	0,599	1,22	0,455
	40	20	6	6	6	3	4,11	3,23	0,684	8,11	1,21	4,05	0,917	1,40	0,542
	50	25	6	6	6	3	5,28	4,15	0,798	17,3	2,51	6,91	1,47	1,81	0,689
	60	30	6,5	6,5	6,5	3,5	6,94	5,45	0,928	33,4	4,79	11,1	2,31	2,19	0,830
	105	68	6,5	8	8	4	16,5	13,0	2,08	290	66	55,2	14	4,19	2
	250	80	8	10,5	10,5	5	35	27,4	1,92	3181	173	255	28,5	9,54	2,23

(De la tabla UNI 1086-87)

Perfiles en U de acero laminados en caliente, serie normal reforzada



Designación: **h × s UNI 1086**

o bien ⊔ **r h × s**

Ejemplo ⊔ **r 220 × 10**

h × s	b	b_1	t	r	r_1	Sección cm²	Situación baricentro e_Y cm	Momentos de inercia		Módulos de resistencia		Radios de inercia	
								J_x	J_y	W_x	W_y	i_x	i_y
140 × 8	61	30	10	10	5	21,8	1,74	628	66,8	89,7	15,3	5,37	1,75
140 × 9	62	30	10	10	5	23,2	1,73	651	70,8	92,9	15,8	5,30	1,75
160 × 8,5	66	32,5	10,5	10,5	5,5	25,6	1,82	959	90,4	120	18,9	6,12	1,88
160 × 9,5	67	32,5	10,5	10,5	5,5	27,2	1,81	993	95,7	124	19,6	6,04	1,88
180 × 9	71	35	11	11	5,5	29,8	1,91	1402	120	156	23,1	6,86	2,01
180 × 10	72	35	11	11	5,5	31,6	1,90	1451	127	161	23,9	6,78	2
200 × 9,5	76	37,5	11,5	11,5	6	34,2	1,99	1978	156	198	27,8	7,61	2,13
200 × 10,5	77	37,5	11,5	11,5	6	36,2	1,98	2044	164	204	28,6	7,52	2,12
220 × 10	81	40	12,5	12,5	6,5	39,6	2,12	2780	206	253	34,4	8,37	2,28
220 × 11	82	40	12,5	12,5	6,5	41,8	2,11	2869	216	261	35,4	8,28	2,27
240 × 10,5	86	42,5	13	13	6,5	44,7	2,22	3714	259	309	40,6	9,11	2,41
240 × 11,5	87	42,5	13	13	6,5	47,1	2,20	3829	271	319	41,6	9,02	2,40
260 × 11	91	45	14	14	7	50,9	2,34	4971	332	382	49,1	9,88	2,55
260 × 12	92	45	14	14	7	53,5	2,33	5117	346	394	50,3	9,78	2,54
280 × 11	96	47,5	15	15	7,5	56,2	2,50	6459	416	461	58,6	10,7	2,72
280 × 12	97	47,5	15	15	7,5	59,0	2,48	6642	433	474	60	10,6	2,71
300 × 11	101	50	16	16	8	61,8	2,66	6753	515	550	69,3	11,6	2,89
300 × 12	102	50	16	16	8	64,8	2,64	8478	536	565	70,9	11,4	2,88

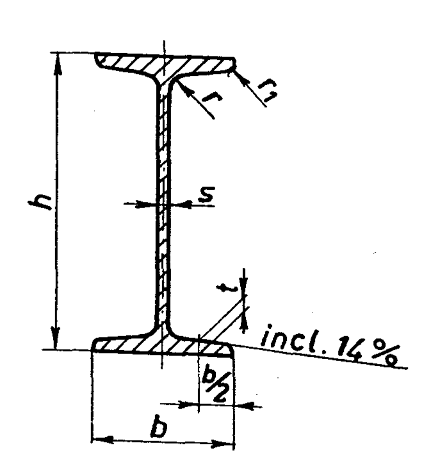
Tabla 299

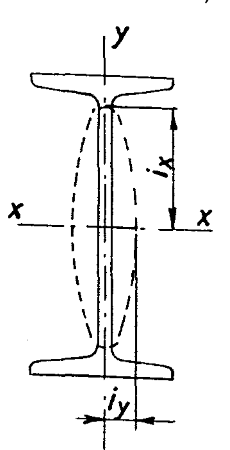
(De la tabla UNI 725-26)

Perfiles en doble T de acero laminado en caliente, serie normal

Para $h \leq 250$
$b = 0{,}4\,h + 10$
$s = 0{,}03\,h + 1{,}5$

Para $h > 250$
$b = 0{,}3\,h + 35$
$s \simeq 0{,}036\,h$





Designación: **h UNI 725**

o bien **I** h (ejemplo **I** 200)

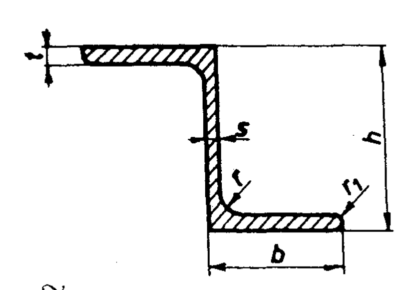
Medidas unificadas

h mm	b mm	s mm	t mm	r mm	r_1 mm	Sección mm²	Peso por metro kg	Momentos de inercia J_x cm⁴	Momentos de inercia J_y cm⁴	Módulos de resistencia W_x cm³	Módulos de resistencia W_y cm³	Radios de inercia i_x cm	Radios de inercia i_y cm
80	42	3,9	5,9	3,9	2,3	7,57	5,94	77,7	6,28	19,4	2,99	3,2	0,911
100	50	4,5	6,8	4,5	2,7	10,6	8,34	170	12,1	34,1	4,86	4	1,07
120	58	5,1	7,7	5,1	3,1	14,2	11,1	327	21,4	54,5	7,38	4,8	1,23
140	66	5,7	8,6	5,7	3,4	18,2	14,3	572	35,1	81,8	10,6	5,6	1,39
160	74	6,3	9,5	6,3	3,8	22,8	17,9	934	54,6	117	14,8	6,4	1,55
180	82	6,9	10,4	6,9	4,1	27,9	21,9	1444	81,2	161	19,8	7,2	1,71
200	90	7,5	11,3	7,5	4,5	33,4	26,2	2138	116	214	25,9	8	1,87
220	98	8,1	12,2	8,1	4,9	39,5	31	3055	162	278	33,1	8,79	2,03
240	106	8,7	13,1	8,7	5,2	46,1	36,2	4239	220	353	41,5	9,59	2,19
250	110	9	13,6	9	5,4	49,7	39	4958	255	397	46,4	9,99	2,27
260	113	9,4	14,1	9,4	5,6	53,3	41,9	5735	287	441	50,9	10,4	2,32
280	119	10,1	15,2	10,1	6,1	61	47,9	7575	363	541	61	11,1	2,44
300	125	10,8	16,2	10,8	6,5	69	54,2	9785	450	652	71,9	11,9	2,55
320	131	11,5	17,3	11,5	6,9	77,7	61	12490	554	781	84,6	12,7	2,67
340	137	12,2	18,3	12,2	7,3	86,7	68	15670	672	922	98,1	13,4	2,78
360	143	13	19,5	13	7,8	97	76,1	19580	816	1087	114	14,2	2,9
380	149	13,7	20,5	13,7	8,2	107	84	23980	973	1262	131	15	3,02
400	155	14,4	21,6	14,4	8,6	118	92,5	29210	1158	1461	149	15,7	3,13
425	163	15,3	23	15,3	9,2	132	104	36930	1434	1738	176	16,7	3,29
450	170	16,2	24,3	16,2	9,7	147	115	45790	1722	2035	203	17,7	3,42
475	178	17,1	25,6	17,1	10,3	163	128	56410	2084	2375	234	18,6	3,58
500	185	18	27	18	10,8	179	141	68650	2474	2746	268	19,6	3,71
550	200	19	30	19	11,9	212	166	98950	3481	3598	348	21,6	4,05
600	215	21,6	32,4	21,6	13	254	199	138800	4679	4626	435	23,4	4,29

Perfiles en Z laminados en caliente

(De la tabla UNI 735)

Perfiles en Z UNI 735



$b \simeq 0{,}25\ h + 30$

$s \simeq 0{,}035\ h + 3$

$t = 0{,}05\ h + 3$

Designación: **h UNI 735**
o bien **Z h**
(ejemplo: **Z 50**)

De cantos vivos y bases iguales UNI 741

b
h
s
s
b

Designación: **h UNI 741**
o bien **Zv b × h**
(ejemplo: **Zv 30 × 15**)

De cantos vivos y bases desiguales UNI 742

b_1
h
s
s
b

Designación: **h UNI 742**
o bien **Z h × b × b_1**

h mm	b mm	s mm	t mm	r mm	r_1 mm	Sec. cm²	tg α	u_m cm	u_n cm	v_m cm	v_n cm	z_m cm	z_n cm	Momentos de inercia J_x cm⁴	J_y cm⁴	J_m cm⁴	J_n cm⁴	Módulos de resistencia W_x cm³	W_y cm³	W_m cm³	W_n cm³	Radios de inercia i_x cm	i_y cm	i_m cm	i_n cm
30	38	4	4,5	4,5	2,5	4,32	1,656	3,86	0,577	0,604	1,39	3,54	0,869	5,97	13,7	18,1	1,54	3,98	3,80	4,70	1,11	1,18	1,78	2,05	0,598
40	40	4,5	5	5	2,5	5,43	1,181	4,17	0,914	1,12	1,67	3,82	1,19	13,5	17,6	28	3,05	6,74	4,66	6,72	1,83	1,58	1,80	2,27	0,750
50	43	5	5,5	5,5	3	6,77	0,939	4,60	1,24	1,65	1,89	4,21	1,49	26,3	23,8	44,9	5,23	10,5	5,88	9,76	2,76	1,97	1,88	2,57	0,879
60	45	5	6	6	3	7,92	0,779	4,98	1,51	2,21	2,04	4,56	1,76	44,7	30,1	67,2	7,60	14,9	7,08	13,5	3,72	2,38	1,95	2,91	0,980

(De la tabla UNI 741)

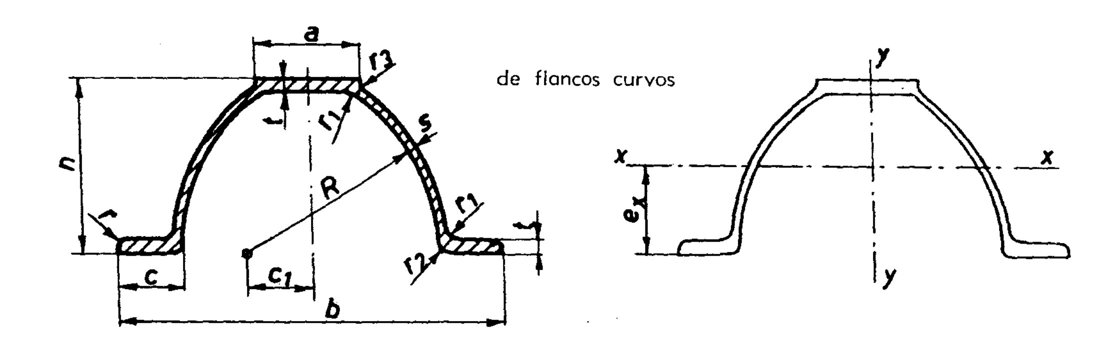
h mm	b mm	s mm	Sección cm²
20	10	4	1,28
25	12	4,5	1,80
30	15	5	2,50
35	18	5,5	3,30
40	20	6	4,08

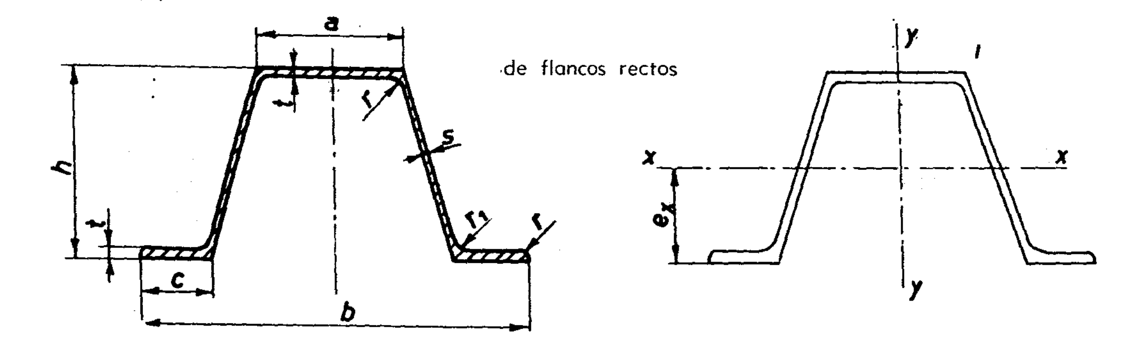
(De la tabla UNI 742)

h mm	b mm	b_1 mm	mm s	Sección cm²
20	14	12	4	1,52
25	15	13	4,5	1,98
30	17	14	5	2,55
35	19	16	5,5	3,24
40	21	17	6	3,96
45	23	19	6,5	4,81
50	25	21	7	5,74

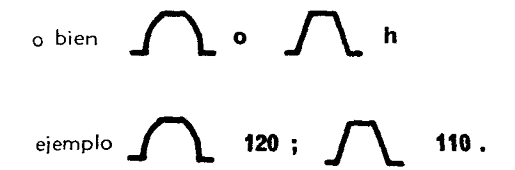
(De la tabla UNI 736)

Perfiles Zorés de acero laminados en caliente





Designación: **h UNI 736**



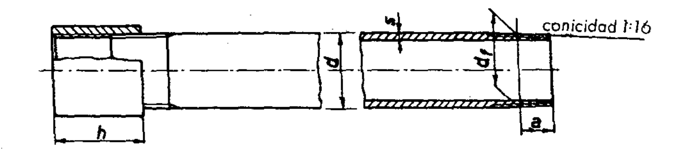
h mm	Tipo de flancos	b mm	a mm	c mm	s mm	t mm	c_1 mm	R mm	r mm	r_1 mm	r_2 mm	r_3 mm	Sec. cm^2	Situación baricentro e_x cm	Momentos de inercia J_x cm^4	J_y cm^4	Módulos de resistencia W_x cm^3	W_y cm^3
90	curvos	200	53	33	4,5	8	33	100	4,5	8	4	4	17,7	4,43	202	625	44,2	62,5
110	curvos	240	63	39	5	9	39	120	5	9	4,5	4,3	23,9	5,41	409	1215	73,1	101
120	rectos	240	90	45	5,5	7	—	—	5	10	—	—	25,2	5,99	552	1232	91,9	103

(De la tabla UNI 3824)

Tubos de acero sin soldadura y soldados

Tubos gas comerciales serie normal, roscados, con manguito de unión

Ejemplo de designación de un tubo gas comercial serie normal, roscado, con manguito de unión, de 1 ½ Gas: **Tubo 1 ½ Gas 3824**



Medidas en mm

Indicación convencional para la designación	d		s	Diámetro de la rosca en el plano de medida sobre la cresta del filete d_r	Distancia del plano de medida al extremo del tubo a	Número de filetes por 25,4 mm	Manguito UNI 349		Referencia al diámetro nominal de tubería DN
	Máximo	Mínimo					Designación	h	
1/8 Gas	10,4	9,7	1,80	9,728	5,0 ± 0,9	28	1/8 Gas	17	6
1/4 Gas	13,9	13,2	2,00	13,157	6,0 ± 1,3	19	1/4 Gas	25	8
3/8 Gas	17,4	16,7	2,00	16,662	6,4 ± 1,3	19	3/8 Gas	26	10
1/2 Gas	21,7	21,0	2,35	20,955	8,2 ± 1,8	14	1/2 Gas	34	15
3/4 Gas	27,1	26,4	2,35	26,441	9,5 ± 1,8	14	3/4 Gas	36	20
1 Gas	34,0	33,2	2,90	33,249	10,4 ± 2,3	11	1 Gas	43	25
1 1/4 Gas	42,7	41,9	2,90	41,910	12,7 ± 2,3	11	1 1/4 Gas	48	32
1 1/2 Gas	48,6	47,8	2,90	47,803	12,7 ± 2,3	11	1 1/2 Gas	48	40
2 Gas	60,7	59,6	3,25	59,614	15,9 ± 2,3	11	2 Gas	56	50
2 1/2 Gas	76,3	75,2	3,25	75,184	17,5 ± 3,5	11	2 1/2 Gas	65	65
3 Gas	89,4	87,9	3,65	87,884	20,6 ± 3,5	11	3 Gas	71	80
3 1/2 Gas	101,8	100,3	3,65	100,330	22,2 ± 3,5	11	3 1/2 Gas	75	90
4 Gas	114,9	113,0	4,05	113,030	25,4 ± 3,5	11	4 Gas	83	100

PEQUEÑO DICCIONARIO TECNOLÓGICO

Abocardado. Es la operación por la cual los tubos hervidores de las calderas de las locomotoras se fijan en la placa tubular de la cámara de fuego. Consiste en ensanchar rápidamente con un punzón el extremo del tubo hervidor, una vez introducido en el correspondiente asiento de la placa tubular. El rápido ensanchamiento del tubo en el asiento ligeramente cónico, produce una presión suficiente para asegurar la estanqueidad. Hay quien emplea la palabra *mandril* para designar el punzón; pero esta denominación es errónea, o por lo menos impropia.

Abrasivos. Sustancias de gran dureza, formadas por gránulos de cantos cortantes, empleados para quitar virutas minúsculas de la superficie de las piezas (principalmente metálicas) en ciertas operaciones. Se usan en forma de polvo, o pegadas sobre papel y tela (p. ej., tela esmeril), o en conglomerados mediante cementos apropiados, formando las *muelas*, empleadas también para el rectificado de las piezas. Con dispositivos adecuados se obtienen superficies especulares, con precisión superior a 0,001 mm.

Acero. Aleación de hierro y carbono forjable. Con la adición de otros elementos se obtienen los aceros especiales y aleados. Si el porcentaje de carbono es superior a un 0,32 %, el acero admite el temple y puede sufrir los diferentes tratamientos térmicos necesarios para sus variadas aplicaciones.

Aceros antimagnéticos. Es decir, no magnéticos o con permeabilidad magnética relativa limitadísima (de 1 a 2). Con diversas aplicaciones (volante de relojes, piezas diversas de aparatos de medida, etc.).

Acero inoxidable. Se da este nombre a algunos aceros que, conteniendo un porcentaje de cromo superior al 12 %, son inatacables por muchos agentes químicos (pero no por el ácido sulfúrico diluido, el ácido clorhídrico y muchos cloruros). Según la clasificación UNI, se denominan estos aceros *resistentes a la corrosión y al calor* (UNI 4047).

Aceros rápidos. Aceros especiales para herramientas que, conservando sus características tecnológicas, aun a temperaturas relativamente elevadas, permiten grandes velocidades de corte. Estos aceros contienen siempre *cromo, tungsteno,* y con frecuencia *vanadio.* Si el porcentaje de tungsteno es superior al 18 %, se denominan extrarrápidos (o super-rápidos).

Adición *(metal o material de).* Es el material metálico que durante la soldadura, se deposita entre los dos bordes que se han de unir, formando la *costura de soldadura,* o que se añade a una pieza, cuando se ha gastado, para darle la dimensión inicial. El material de adición ha de tener la composición conveniente para cada material que se ha de soldar y ser de gran pureza.

Alesnado (o *brochado).* Cuando en una serie de piezas se tenga que dar a un agujero ya perforado una sección de forma especial (por ej., con ranuras, para acoplamiento con árboles acanalados) se recurre al alesnado o brochado. La herramienta (brocha o alesnador) de eje recto, está formada por una sucesión de numerosas herramientas elementales (dientes), cada una de las cuales sobresale un poco más que la precedente. Introducida la parte más delgada en el agujero que se ha de mecanizar, se aplica a la herramienta un elevado esfuerzo de tracción, que la obliga a pasar a través de la pieza, arrancando virutas y dando al agujero la forma y las medidas exactas deseadas. Para cada forma y medida de agujero perfilado, se requiere una herramienta especial. Y puesto que estas herramientas son muy caras, sólo interesa este mecanizado para producción en serie.

Alnico. Aleación magnética de hierro, níquel, aluminio, cobalto y eventualmente cobre y titanio, caracterizada por su elevadísima fuerza coercitiva y elevado magnetismo remanente y apropiada, por lo tanto, para la fabricación de imanes permanentes. Otras aleaciones semejantes son el alcomax, el oersit, el ticonal. El alnico se trabaja únicamente con la muela por su gran dureza. Las piezas semifabricadas se producen por fusión, tanto del alnico como de las aleaciones semejantes.

Aluman. Aleación ligera de aluminio y manganeso, que tiene varias aplicaciones por su regular resistencia a la corrosión (laminados, perfiles, tubos, barandillas, etc.).

Alumel. Aleación de níquel (95 %) y aluminio ($\sim$ 5 %), que se puede estirar y soldar, y que se emplea en pares termoeléctricos junto con el *cromel.*

Alusil. Aleación ligera de aluminio y silicio (hasta el 18 %); actualmente substituida por el *silumin* que tiene menor proporción de silicio.

Anódico *(recubrimiento-tratamiento).* Algunos metales y aleaciones, con un tratamiento electrolítico *(anodizado),* se recubren de una capa finísima con objeto de protegerlos contra la corrosión y darles un aspecto atractivo, por cuanto dicho recubrimiento puede ser de colores variados. El tratamiento anódico se halla muy extendido para el aluminio y varias de sus aleaciones.

Antifricción *(aleaciones).* Son aleaciones destinadas a recubrir en los cojinetes las partes sujetas a fuertes y continuos movimientos de frotación. En las tablas UNI 2184 y 2185 se hallan unificadas algunas aleaciones antifricción, compuestas de estaño, plomo, antimonio, cobre, y se conocen con el nombre de metal blanco antifricción, metalrosa, etc.

Arcatom. Proceso de soldadura eléctrica en el que se desarrolla el arco en una atmósfera de hidrógeno que, dadas las condiciones especiales en que se halla, resulta en estado atómico y por lo tanto especialmente adecuado para impedir oxidaciones. Por lo tanto, las soldaduras resultan mucho más resistentes que las de los procesos ordinarios.

Argentán (o *alpaca).* Es una aleación de cobre y níquel, con cinc, que tiene suficiente resistencia a los agentes atmosféricos y que tiene aplicación, cuando contiene buena proporción de níquel, para objetos de adorno, cubiertos, etc.

Atmósfera. Unidad de presión, igual, por su definición teórica inicial, a 1,033 kg/cm^2; en la práctica se emplea la atmósfera técnica igual a 1 kg/cm^2, o sea, 10 metros de columna de agua.

Austenita. Cuando se calienta un acero a una temperatura suficientemente elevada (según el tipo de acero de 850° a 930° C, aproximadamente), se obtiene una solución sólida de la cementita en la ferrita γ, de estructura cristalina, con cristales relativamente grandes. No es magnética y sólo es estable a dicha temperatura. Con un enfriamiento rapidísimo (mezclas frigoríficas) se puede obtener en forma inestable a la temperatura ambiente; con el enfriamiento rápido normal del temple, la austenita se transforma en *martensita.*

Autocentrante. Es un dispositivo que sirve para situar una pieza o herramienta con un extremo cilíndrico, de forma que el eje de esta parte cilíndrica adopte la posición exacta requerida; por ejemplo, el husillo autocentrante de la taladradora, para fijar la punta de una broca helicoidal; el husillo autocentrante del torno, etc.

Automación. Sistema modernísimo de fabricación automática en serie, que ha permitido un gran aumento de producción con reducción de la mano de obra empleada. Mientras que en la automatización sólo son automáticas las operaciones simples y es el hombre quien coordina las diversas operaciones, efectúa los controles, etc., en la automación toda la secuencia de operaciones está dirigida por cerebros electrónicos. Una pieza pasa de una a otra operación mediante la máquina *transfer* (v.), controlada por dispositivos apropiados (p. ej., células fotoeléctricas, etc.). Con la automación disminuye o se suprime el empleo de peones, y aumenta la demanda de personal especializado.

Autotemplantes. Así se llaman algunos aceros especiales, que tienen la propiedad de templarse, después del calentamiento por encima del punto crítico correspondiente, aun cuando la velocidad del enfriamiento sea relativamente baja. En general, son aceros al cromo, al cromo-níquel-molibdeno, al cromoníquel, etc.

Bainita. Es un constituyente de los aceros que se forman durante el revenido, cuando la austenita se descompone a baja temperatura; representa el paso de la martensita a la troosita (v. *Bonificado isotérmico*).

Balancín (*máquina*). Es una máquina que sirve para operaciones de corte, estampación, punzonado de chapas y para enderezar, estirar y curvar barras y alambres. Los hay movidos *a mano*, en los que la fuerza necesaria para la operación la comunica el operario a un sistema de tornillo con contrapesos, en los que se acumula energía cinética; o con motor, accionados por *fricción* (embrague de fricción).

Balancín (*mecanismo*). Nombre que recibe un brazo oscilante, que puede servir para repartir una carga sobre uno o más pares de apoyos, o para transformar un movimiento alternativo en movimiento de rotación (máquinas de coser, tornos de pedal, etc.); o para transformar un movimiento circular en movimiento alternativo (árbol de levas y balancín de un motor de explosión); y también en las transmisiones flexibles (balancín de contrapeso, p. ej., en los mandos ferroviarios de agujas de apertura y cierre de barreras en los pasos a nivel); o, finalmente, para regular algunos movimientos (balancín oscilante de espiral de los relojes).

Baquelita (o *bakelita*). Material cuyo constituyente fundamental es una resina fenólica, utilizable también para la impregnación de tejidos o papel. El tipo A (soluble en alcohol etílico, acetona, etc.), con el primer calentamiento, pasa al tipo B (sólo parcialmente soluble en los mismos líquidos), que se emplea pulverizado o mezclado con diversos materiales de relleno (serrín) para estampar piezas, incluso mecánicas. Polimerizando el tipo B con un nuevo calentamiento se obtiene el tipo C, duro, insoluble y resistente a la mayoría de agentes exteriores, utilizable para la producción de piezas estampadas impregnadas.

Bar. Unidad de medida de presión de los fluidos, igual a 10^6 barias (dyna/cm^2). Coincide con una aproximación del 2 % con la *atmósfera técnica* (v.).

Barras. Laminadas en caliente, de sección circular o poligonal (cuadrada, hexagonal, etc.); si poligonal, con cantos vivos (UNI 706 ÷ 709). Hay también barras planas, redondeadas, etc. (UNI 713; 724).

Barrenadora. Así se llama la máquina de mandrilar (v. *escariado*). en la que la herramienta se mueve a lo largo del eje del husillo, correspondiéndole también el movimiento de alimentación.

Bastidor. Con este nombre se designa la parte de la máquina sobre la que se encuentran, entre otras, las guías de los órganos móviles. Por ejemplo, el bastidor de una fresadora se compone de la bancada, del montante o columna y del cabezal o brazo. La forma y proporciones de las máquinas motrices y operadoras, han de ser estudiadas concienzudamente, para asegurar al conjunto de la rigidez necesaria, la ausencia de vibraciones que puedan perjudicar al buen funcionamiento de la máquina, etc. Los bastidores generalmente son de fundición; en las máquinas sometidas a fuertes cargas dinámicas se emplea el acero. Cuando el bastidor tenga que ser de poco peso se pueden emplear estructuras soldadas.

Bessemer (*procedimiento*). Procedimiento para convertir rápidamente la fundición en acero. Haciendo pasar a través del hierro en fusión, puesto en un *convertidor*, un fuerte chorro de aire, se efectúa la combustión sucesiva del silicio, del manganeso y del carbono. De este modo se convierte la fundición en acero. El proceso es rápido (unos 20 minutos); es por lo mismo difícil interrumpir la operación en el momento exacto conveniente. Además, la mezcla que tiene lugar del acero con las escorias, es causa de que parte de éstas pueda quedar incluida en el producto final, que resultará de baja calidad. Otro inconveniente es que no se elimina el fósforo (v. *Thomas*).

Biela. Barra de acero que forma parte del mecanismo *biela-manivela*, y convierte el movimiento alternativo rectilíneo en movimiento circular y viceversa. El extremo de la biela, unido a la manivela, se llama *cabeza;* el extremo opuesto se llama *pie* y puede tener forma de soporte, de horquilla o de aro. *Biela de acoplamiento* es el nombre que se da a la barra del paralelogramo articulado que une dos manivelas que giran alrededor de dos ejes independientes (por ejemplo, los ejes motores y los ejes acoplados de una locomotora).

Bonificado. Tratamiento térmico que permite obtener una característica entre dureza y tenacidad según las necesidades de empleo. Se aplica a los aceros de construcción y consiste en un temple directo (a veces termal) seguido de un revenido. Si el temple es de tipo isotérmico, pero con la temperatura de permanencia más bien alta, resulta el *bonificado isotérmico* (UNI 3354) que, debido a la presencia de la bainita superior, le confiere especiales características de dureza y tenacidad.

Bonificado intermedio o isotérmico (v. *Recocido isotérmico).*

Brinell (*dureza*). Es uno de los métodos empleados para determinar la dureza de un material. La dureza se deduce de la medida del diámetro de la huella que deja una bola de acero muy dura, al aplicarle una fuerte presión durante un tiempo fijado. Este ensayo está unificado (UNI 560-61).

Brochado. Operación por la que se mecanizan superficies interiores de piezas mediante herramientas de dientes múltiples, de modo que se puedan practicar con facilidad ranuras de árboles acanalados, sectores dentados, agujeros poligonales o de cualquier forma, de medidas limitadas. La herramienta, llamada *brocha*, lleva varias series de dientes (según la forma de la sección del agujero), que en cada serie son de tamaño creciente. Cuando la brocha trabaja según movimiento rectilíneo, por la acción de tracción que efectúa la brochadora hidráulica), los dientes arrancan gradualmente el material necesario, por lo que el agujero inicial puede, aun con una sola pasada, transformarse en un agujero de forma especial. Los dientes de cada serie están divididos en tres grupos que se llaman, sucesivamente, *desbastadores, acabadores, alisadores*. En los casos en que la brocha tenga que ser demasiado larga y cara, es conveniente substituirla por dos o tres brochas, que trabajan una después de otra.

Bruñido. Acabado de una superficie (metálica) mediante el cual adquiere un aspecto especular con valor reducidísimo de la rugosidad (o aspereza). Se efectúa frotando contra la superficie que se ha de bruñir unos discos de paño o piel, que giran en una máquina especial; los discos están empapados de agua que tiene en suspensión apropiados polvos abrasivos finísimos, de grano impalpable (alúmina, óxido crómico, etc.). Otros tipos de bruñidoras funcionan con cinta, otras con tambor (por ejemplo, para bolas de cojinetes de rodamiento).

Cadmiado. Revestimiento superficial de piezas metálicas con cadmio con fines de protección. Se aplica al acero y a las aleaciones ligeras. También se aplica al vidrio (espejos). Su efecto de protección es superior al del galvanizado.

Cadmio. Elemento químico parecido al cinc, usado para el cad-

miado en la preparación de aleaciones muy fusibles y en algunos acumuladores eléctricos.

Calado. Cuando se han de unir dos piezas, una hueca con la superficie interior cilíndrica y la otra de superficie exterior cilíndrica, de forma que no haya posibilidad alguna de movimiento entre ambas, se efectúa el *calado*, mediante *chavetas* (*calado móvil*) o mediante ajuste a presión, en caliente o en frío (*calado fijo*). Para este segundo caso se han de escoger las tolerancias convenientes del agujero y del eje.

Calado (*ángulo de*). Es el ángulo formado por los ejes de las manivelas motrices de los cilindros de los motores de combustión interna de varios cilindros y es también el elemento fundamental para el dibujo y la construcción de los cigüeñales.

Calafateado (o *retacado*). Es la operación, practicada por medio de un retacador o calafate especial (cincel de punta muy redondeada), con el cual se recalcan los bordes de las chapas remachadas o las cabezas de los roblones, con objeto de mejorar su estanqueidad. El calafateado aumenta además notablemente la resistencia de las uniones roblonadas, especialmente las de simple cubrejuntas.

Calibres diferenciales. Sirven para comprobar en las producciones en serie que las medidas están comprendidas dentro de los límites de tolerancia establecidos. Para ello se emplean los *calibres dobles*, llamados *diferenciales*, en forma de doble horquilla o doble tapón; uno de los extremos (correspondiente al diámetro mínimo para los agujeros y al diámetro máximo para los ejes) ha de pasar y se llama *lado pasa;* el otro no ha de pasar y se llama *lado no pasa*.

Calibres fijos (*de plantilla* o *de posición*). Son planchitas de acero, de forma conveniente para la comprobación de la forma de las piezas fabricadas según plantilla (p. ej., manecillas) o de la posición o distancia de planos (p. ej., de un árbol escalonado), o de la abertura de ángulos, etc.

Calorización. Es una cementación del acero en un medio en el cual pueda absorber aluminio, para lograr que sobre su superficie se forme una capa de aleación hierro-aluminio, resistente a la oxidación y a la corrosión (UNI 3354).

Carbocementación. (v. *Cementación carburante*, UNI 3354).

Carbonitruración. Es la cementación de un acero de baja proporción de carbono, a temperatura superior a Ac_1 en atmósfera gaseosa adecuada, de la que pueda absorber carbono y nitrógeno. A continuación se procede a un tratamiento de temple (UNI 3354).

Carga de punta. Cuando una viga está sometida a compresión, si su dimensión transversal mínima es muy pequeña con respecto a su longitud, resulta que debido a las inevitables asimetrías estructurales y a la imperfecta axialidad de la carga, tiende la pieza a doblarse: se dice en este caso que está sometido a una carga de punta.

Carga de rotura. Se expresa en kg/mm^2 e indica la carga unitaria que causa la rotura de una probeta del material ensayado. Este dato tiene muchísima importancia para todos los cálculos de resistencia de materiales. En los materiales perfectamente isótropos las cargas de rotura a tracción y a compresión son iguales; pero no así en los otros. La carga de seguridad es una fracción de la carga de rotura.

Carga de seguridad. (v. *Carga de rotura*).

Casquillo. Nombre que se da corrientemente a la pieza en forma de cilindro hueco, con o sin collar de retención, que transmite la carga al gorrón de un árbol giratorio. Puede ser de latón, bronce, acero, etc. La necesidad de lubricación hace que generalmente se componga de dos o más partes (cojinete, apoyo del casquillo, etc.): el cojinete está revestido generalmente de metal antifricción. Hay casquillos estudiados para el montaje de cojinetes de rodillos o de bolas.

Cementación. Es el nombre general con que se designan los tratamientos que permiten producir sobre las piezas de acero capas superficiales con propiedades particulares. Estos tratamientos comprenden el calentamiento a una elevada temperatura determinada, en un medio sólido, líquido o gaseoso de composición química especial y la permanencia a dicha temperatura durante un tiempo suficiente. La cementación más corriente es la carburante, por la cual un acero pobre de carbono se calienta a temperatura algo superior a Ac_3 en un medio (sólido, líquido o gaseoso) carburante. Siguiendo luego un temple o dos temples con distensión final, se obtiene el acero con una superficie dura y resistente y núcleo tenaz. Véase también: cianuración, carbonitruración, nitruración, calorización, cromización, sherardización, siliciación.

Cementación carburante. (UNI 3354). Equivale a *carbocementación*. Es el tipo más corriente de *cementación* (K).

Cianuración. Es un tratamiento superficial de cementación en un baño de sales fundidas que contienen cianuros, de los cuales el acero absorbe carbono y nitrógeno. Va seguido generalmente de un tratamiento de temple (sin ulterior calentamiento). Se llama impropiamente cianuración a un tratamiento térmico efectuado a temperatura inferior, con cianuro, sobre herramientas, con objeto de endurecer sus cortes (UNI 3354).

Cinc. Metal empleado en placas para cubiertas, canalones, etc., en el *galvanizado* (v.); en aleaciones (latón, zama, argentán, etc.).

Cizalla. Máquina para cortar perfiles y chapas. Las cizallas circulares permiten cortar tiras de chapas; otras permiten cortar las chapas siguiendo líneas curvas o circulares.

Cobalto. Elemento químico, que funde a 1490° C, del grupo del hierro y del níquel, empleado en metalurgia para la fabricación de aleaciones de gran dureza (stellita), de muchos aceros rápidos, de aceros para imanes, de aleaciones para resistencias eléctricas (semejantes al níquel-cromo, pero mejores).

Cobre. Metal de color rojo y peso específico 8,65 kg/dm^3, maleable, dúctil, buen conductor del calor y de la electricidad, empleado principalmente en la industria eléctrica (alambres), para calderas, aparatos de destilación, tuberías de vapor, etc. (en chapas y tubos); y aleado con otros metales (latones y bronce) en infinitas aplicaciones en todos los campos de la técnica.

Cobreado. Revestimiento superficial de cobre, más o menos delgado, empleado con frecuencia como capa intermedia entre una superficie metálica que se ha de proteger y el revestimiento protector exterior propio y verdadero (por ej., el niquelado del hierro).

Cojinete. Se indica con este nombre el elemento que sirve de apoyo al gorrón de un ajuste móvil giratorio. Se dividen en cojinetes de deslizamiento y cojinetes de rodamiento. Desde el punto de vista de la dirección de la carga se dividen en *radiales* (carga normal al eje) y de *empuje* (carga axial).

Cojinete axial. Los árboles o los gorrones sometidos a fuerzas axiales que tiendan a moverlos longitudinalmente, han de tener el adecuado cojinete axial intermedio (árboles de transmisión) o de extremo (quicionera o cojinete).

Colada. En las fundiciones se indica con esta palabra la operación de llenar los moldes con metal fundido. La colada puede efectuarse por diferentes procedimientos técnicos, que son:
directa: el metal se vierte directamente por gravedad en el molde;
indirecta: el metal entra en el molde por un lado o por el fondo; si las entradas que van del canal de colada al molde están en la parte más baja del molde, la colada se llama *de sifón;*
de racimo: cuando un solo canal de colada alimenta las diversas entradas de varios moldes superpuestos;
centrífuga: el molde gira a gran velocidad alrededor de su propio eje, método usado principalmente para los tubos de fundición;
a presión: (v. *Fundición a presión*).

Compensados (o *contrachapeados*). Dado que la madera resiste bien a la tracción (y también a la compresión) si está solicitada en la dirección de sus fibras, mientras que su resistencia es escasísima, si está solicitada perpendicularmente a las fibras, se fabrican los compensados o «contrachapeados» encolando, una encima de otra, tres o más chapas de madera colocadas de forma que vayan alternando las fibras, formando ángulo recto cada una con las contiguas. De este modo se obtiene buena resistencia a la tracción y a la flexión en cualquier dirección. El contrachapeado puede además tener una cara de madera de calidad, encolada a hojas compensadas de madera de menor precio.

Congelación (o *temple subcero*) (UNI 3354). Para aumentar la dureza de un acero templado (y aun eventualmente revenido) y mejorar su estabilidad dimensional, completando la transformación de la eventual austenita residual, se puede recurrir a este tratamiento, consistente en un ulterior enfriamiento a temperatura muy inferior a la ambiente.

Convertidor. (v. *Bessemer* y *Thomas, procedimiento*).

Copiador *(mecanizado con).* Es un método de trabajo aplicable a máquinas herramientas, mediante el cual, de un modelo o de un ejemplar de una pieza, se puede obtener un número indefinido de piezas técnicamente iguales al modelo. A veces puede servir como modelo una simple plantilla plana que representa la sección axial de la pieza (por ejemplo, para fabricar mangos con el torno). No se prestan todas las piezas a ser fabricadas con dispositivo «*copiador*».

Coquilla *(moldeo en).* Fusión en molde metálico, de forma permanente (a diferencia de los moldes de tierra, que se inutilizan en cada, operación). Los moldes metálicos llamados *coquillas,* han de ser fácilmente desmontables, para que sea cómodo sacar las piezas moldeadas. Para su construcción se usan la *fundición mecánica* (para aleaciones de baja temperatura de fusión) y el acero al cromo-vanadio (para aleaciones de alta temperatura de fusión). El moldeo en coquilla da piezas con superficies perfectamente acabadas y generalmente endurecidas a causa de la gran velocidad de enfriamiento de la capa superficial de la pieza en contacto con la coquilla. También se moldean en coquilla muchas piezas de fundición blanca para maleabilizar. Se colocan también coquillas en los moldes de tierra en las partes que se quiere que adquieran dureza superficial con un rápido enfriamiento.

Corona. Palabra que indica un aro de sección variada que constituye por sí solo un órgano o bien la periferia de una rueda, de un volante o bien de otros órganos que giran. Una corona puede caracterizarse por su *sección* (por ejemplo, en un volante) o por su superficie exterior o interior (acanalada, dentada, lisa, cónica, plana, etc.).

Corredera. Se designa con este nombre la ranura practicada en una placa, en un disco, en un vástago, que sirve de guía a un cursor o patín obligado a deslizarse dentro de dicha ranura. La ranura puede ser eje recto o curvo y puede por lo tanto prestarse a movimientos variados. Tiene una aplicación importante en el mecanismo de corredera oscilante de las máquinas limadoras, en algunos mecanismos de distribución de máquinas de vapor.

Corte *(de metales).* En el sentido de *fraccionar* (por ej., una barra en varios trozos) se puede efectuar en frío o en caliente. En frío, con sierras (de mano, de arco con motor, de cinta, de disco, de muela), con cizalla, con punzón (eventualmente accionado con prensa), con buril, con tijeras o cortafríos. En caliente, con cincel y tajadera, con sierras circulares, por corte oxiacetilénico, por arco eléctrico. En el sentido de separar el metal sobrante mediante herramientas, se efectúa en los tornos, fresadoras, taladradoras, escariadoras, rectificadoras (todas con movimiento de trabajo rotatorio) y en las limadoras, cepilladoras, mortajadoras (con movimiento de trabajo rectilíneo alternativo). Es muy importante la consideración de la *velocidad de corte,* que es la velocidad relativa de la punta de la herramienta con respecto a la pieza que se mecaniza. Si n es el número de revoluciones por minuto de la pieza con respecto a la herramienta (o viceversa) y d es el diámetro de la parte que se mecaniza, la velocidad de corte es $V = \pi dn/60\ m/seg.$

Crisol *(horno de).* Hornos en los que la fusión de los metales o aleaciones se efectúa en un crisol, calentado por resistencias eléctricas o mediante quemadores de gas o de fuel oil. Según el material que se ha de fundir, son de acero, de fundición, de níquel, de níquel-cromo, de grafito, de gres, de porcelana, de platino, etc. La capacidad de los crisoles varía desde pocos centímetros cúbicos hasta 300 ÷ 400 kg de metal fundido.

Cromado. Revestimiento de una pieza metálica con una capa de cromo, con objeto de dar a la pieza resistencia a muchos agentes corrosivos y a la oxidación, y de aspecto brillante.

Cromel. Aleación de níquel y cromo, empleada en alambres para resistencias eléctricas y para formar pares termoeléctricos con el *alumel.* Se conoce también con el nombre de nicrom.

Cromización. Es un tratamiento térmico de cementación del acero en un ambiente del que pueda absorber cromo, a fin de obtener un recubrimiento superficial resistente a la oxidación en caliente y a la corrosión (UNI 3354).

Cromo. Metal del grupo del molibdeno y tungsteno, empleado para el cromado y para la fabricación de muchas *aleaciones* y de los *aceros al cromo.* La adición del cromo al acero (aun en proporción inferior al 5 %) le comunica gran resistencia al desgaste y gran dureza, por lo que tiene muchísimas aplicaciones. Con porcentajes elevados de cromo y especialmente con la adición de níquel, el acero se vuelve inoxidable. Con el tungsteno y el cromo, los aceros son utilísimos para herramientas (aceros rápidos, extrarrápidos).

Cubilote. Es un horno vertical empleado para la segunda fusión de la fundición. Su funcionamiento es continuo.

Cubo. Nombre que se da a la parte de un elemento giratorio que está acoplado a un árbol y que puede ser fija o móvil (loca) respecto a dicho árbol. Hay, pues, un cubo en las ruedas, volantes, poleas, etc. La superficie interior del cubo puede ser lisa (por ejemplo, en las poleas locas); con ranura (para fijación con chaveta); de perfil acanalado (árbol motor de la hélice). El cubo de la hélice de los motores de aviación de potencia elevada y mediana es un órgano muy complicado, ya que permite variar el paso de la hélice.

CUNA. Es la sigla de una de las comisiones federadas con el UNI, cuyo nombre es: «Comisión Técnica de Unificación del Automóvil».

Cunico. Semejante al cunife, pero con cobalto en lugar de hierro. Tiene las mismas aplicaciones y propiedades.

Cunife. Aleación de cobre, níquel, hierro, de características algo inferiores al alnico y apropiadas para la fabricación de imanes permanentes. Son mecanizables a diferencia del alnico, aun con herramientas corrientes.

Chapeado. Cuando una plancha de madera (generalmente ordinaria) ha de parecer construida de madera cara, se logra este efecto encolando sobre su superficie una delgada hoja de madera cara *(chapa).* La operación se llama chapeado.

Charpy *(péndulo de).* (v. *Resiliencia*).

Decapado. Es un pulimento de la superficie de una pieza metálica, obtenido mediante inmersión en un líquido que, por sus características químicas, sea apropiado para el metal de la pieza, desarrollando una enérgica acción de disolución de las escorias y de los óxidos superficiales, con una ligera corrosión de la pieza.

Deformación (llamada también *despulla o conicidad).* Es la convergencia hacia abajo que se da a los modelos para moldeo, con objeto de facilitar el desmoldeo. Para ello se da a las superficies (planas o cilíndricas), que tendrían que ser perpendiculares al plano horizontal del molde, una ligera inclinación hacia el interior, de manera que los cilindros tengan forma de tronco de cono, con débil conicidad.

Deformación elástica. Todo cuerpo [illegible] por una fuerza o por un sistema de [illegible] son deformaciones elásticas las que, al [illegible] deformante, desaparecen. Se caracterizan por [illegible] es directamente proporcional [illegible] deformantes.

Delta *(metal).* Es un [illegible] manganeso, hierro y plomo, forjable [illegible] empleado para moldeo de objetos [illegible] mecánicas y navales.

Dentadora. [illegible] arranque [illegible] dentadas. Hay [illegible] conocida fresadora [illegible] hay también [illegible] peine, con [illegible] dentadoras [illegible] ruedas [illegible] en caliente [illegible] a temp[illegible] ta [illegible] a girar [illegible] mente [illegible] que se [illegible]

Desagr[illegible]

Desbastes. Semiproductos de las herrerías, de sección rectangular y cantos redondeados, cuya sección es inferior a 16900 mm^2.

Descarburación. Es la disminución del porcentaje de carbono en la capa superficial de un acero, cuando éste se calienta en un medio que reacciona con el carbono del mismo (por ejemplo, durante un tratamiento térmico). La parte descarburada, en general, pierde dureza y elasticidad y sufre una disminución del límite de fatiga (UNI 3354).

Desprendimiento (*ángulo*). Las herramientas de las máquinas (torno, fresadoras, limadoras, cepilladoras, etc.) con objeto de poder separar con facilidad la viruta y para evitar que el dorso de la herramienta quede en contacto con las partes de la pieza ya mecanizadas, han de tener una inclinación con respecto al plano horizontal o vertical que pasa por el punto de contacto entre herramienta y pieza. Los ángulos correspondientes a estas inclinaciones se llaman de *desprendimiento* o *salida* (frontal y superior, dorsal o inferior) (v. también *Deformación*).

Diametral-Pitch (Pd. o *paso diametral*). Es el cociente de dividir el diámetro primitivo de una rueda dentada, *expresado en pulgadas*, por el número de dientes de la misma. Es la base para la fabricación de ruedas dentadas en las naciones que tienen una pulgada como unidad de longitud. El diametral-Pitch es el inverso del *módulo*, pero teniendo en cuenta el factor de conversión de pulgadas en milímetros.

Distensión. Es un tratamiento térmico (UNI 3354) que tiene por objeto disminuir las tensiones internas del material, conservando su tenacidad y sin apenas disminuir su dureza. Consiste en un calentamiento a temperatura notablemente inferior a la de transformación de la perlita en austerlita, seguido de un enfriamiento lento.

Divisor. Es un mecanismo que permite dar a una pieza montada en el mismo rotaciones de ángulos bien determinados alrededor de un eje. Reciben también el nombre de divisores, mecanismos de otro tipo que permiten dividir longitudes en partes iguales o proporcionales a números establecidos (por ejemplo, para graduar, pies de rey, reglas de cálculo, etc.). Los divisores del primer tipo se llaman también *cabezales de dividir* y son el accesorio principal de las fresadoras. Estos divisores pueden ser *sencillos* (que sirven para dividir una circunferencia en a partes iguales, siendo a un número entero), y *diferenciales* (que permiten dividir una circunferencia en $a + b/n$ partes iguales, siendo a entero y b/n una fracción propia).

Doblado (*ensayo*). Es un ensayo tecnológico unificado (UNI 564) que se efectúa en un material metálico que haya de sufrir repetidos doblados, a fin de comprobar su resistencia a dichas solicitaciones y garantizar su ductilidad. Una probeta de material, preparada según las normas establecidas en la tabla, se dobla de forma que los ejes de los dos bordes queden en el mismo plano. El ensayo se efectúa de dos modos: o hasta que los bordes de la probeta o su prolongación formen un ángulo determinado (que puede llegar a 180°), sin que se presenten grietas, o hasta que aparezcan grietas en el lado extendido, midiendo el alargamiento o calculándolo por un *coeficiente de plegado* que se halla en la tabla, en función del diámetro del arco de plegado.

Ductilidad. Es la propiedad que poseen algunos materiales por la cual se pueden reducir a alambres aun delgadísimos. Tiene interés particular en las operaciones de estirado.

Duraluminio. Aleación de aluminio con variados porcentajes de cobre, magnesio y silicio y pequeñas trazas de hierro. El duraluminio se caracteriza por adquirir excelentes propiedades mecánicas después de algunos días de reposo, una vez templado a unos 500° C. Tiene gran aplicación en construcciones aeronáuticas por su gran ligereza unida a elevada resistencia.

Dureza. Es la resistencia que un material sólido opone a ser rayado por otro material. La dureza de un material se gradúa técnicamente midiendo la huella que deja un cuerpo de forma y dureza adecuada (penetrador), por la acción de una carga determinada durante un tiempo establecido [Brinell, Rockwell, Vickers (v.)]; o bien la altura de rebote de una bola de acero templado, que se deja caer desde una altura determinada, sobre una superficie plana horizontal del material ensayado [Shore (v.)]

Ebonita. Producto de la reacción química del caucho con el azufre, dura, frágil, buen aislante eléctrico, y resiste bien a muchos reactivos químicos. De color negro (a veces pardo rojizo), se trabaja con facilidad; por encima de los 100° C se reblandece; a 200° C se carboniza. Muy empleada en la industria química, y en la electrotécnica por sus propiedades; actualmente se va substituyendo por materiales plásticos de características similares y menos frágiles.

Eje. En algunos tipos de automóvil, el eje es una viga que transmite la carga del vehículo a las ruedas, por medio de muelles, y sirve de eje a dichas ruedas y puede también, en varios casos, transmitir a las ruedas el par motor y servir para la dirección del vehículo. Por lo tanto, puede haber los siguientes tipos de ejes: *a*) *de apoyo, rígido*; *b*) *de apoyo, giratorio*; *c*) *de apoyo, articulado*; *d*) *motor, con transmisión exterior*; *e*) *motor, rígido, con transmisión interior* (llamado *puente*); *f*) *motor, giratorio, con transmisión interior* (puente con diferencial).

Elásticas (*deformaciones*). Son las deformaciones que experimenta un cuerpo bajo la acción de una fuerza y que desaparecen al cesar la acción deformante. La magnitud de las deformaciones es proporcional a la fuerza deformante.

Elektrón. Aleación ultraligera de magnesio con aluminio del 2 al 15 % y cinc del 1 al 3 %. Carga de rotura, al salir de fusión, de 22 kg/mm²; después de un endurecimiento llega a 40 kg/mm². Empleada en aplicaciones que exijan resistencia y gran ligereza (aeronáutica).

Elinvar. Aleación de hierro-níquel-cromo, de estructura bastante estable en lo referente al coeficiente de dilatación térmica.

Embutido. Trabajo de las chapas que se efectúa aprovechando la maleabilidad del material. La chapa queda prensada entre estampa y contraestampa de una prensa de potencia suficiente. Dado que el material utilizado tiene ya la forma de chapa; mediante el embutido adopta esta chapa la forma deseada. No se ha de confundir, pues, el embutido con la extrusión, aunque en algún caso pueden ambas operaciones producir resultados parecidos.

Empujador. Se da este nombre al órgano que en los motores de combustión interna, colocado entre la leva y el vástago de la válvula, produce la apertura de la válvula. Consiste en una varilla, cuya parte inferior, en contacto con la leva, puede tener forma de *platillo* o de *rodillo* (para disminuir el rozamiento y el desgaste). En los motores con válvulas y árbol de levas en cabeza, el empujador se substituye por el *balancín*.

Endurecimiento. Cuando un cuerpo que tiene escasa elasticidad, debido a operaciones de varias clases (por ej., estirado) aumenta su elasticidad, se dice que ha sufrido un endurecimiento. Esto puede ser útil cuando convenga aumentar la elasticidad (por ej., en el estirado de un alambre de latón para resortes), y en cambio perjudicial cuando el aumento de elasticidad dificulte eventuales trabajos posteriores (por ej., el endurecimiento de una chapa de cobre, que se haya de martillar). El endurecimiento tiene lugar cuando se somete el material a deformaciones plásticas a temperatura inferior a su recristalización; se producen algunas variaciones de las características mecánicas y alteraciones que constituyen el endurecimiento (UNI 3354).

Enfriadores. Son piezas metálicas que se introducen en los moldes de colada, cuando conviene acelerar el enfriamiento y la solidificación del metal fundido en las partes que, por su mayor sección, tardarían más en solidificarse: los enfriadores tienden pues a producir un enfriamiento uniforme. Los enfriadores pueden ser *de coquilla* (de fundición, empleados por ej., para acelerar el enfriamiento de los nervios, de fijaciones de paredes gruesas, etc.), y *de remaches* (remaches de formas y dimensiones convenientes, que han de quedar insertados en la pieza moldeada).

Ensayos (*de materiales metálicos*). Tienen por objeto determinar las características de los materiales, para poder deducir su mayor o menor aptitud para someterlos a las operaciones de fabricación y para resistir las solicitaciones. Los ensayos pueden ser *de resistencia*, o sea: *de tracción* (UNI 556-57 y 3918); *de compresión* (UNI 558); *de flexión* (UNI 559 y 3219); *de cortadura* (no unificados); *de torsión* (no unificados); *de elasticidad* (no unificados); *de resiliencia* (UNI 3212); *de dureza* (Brinell UNI 560-61; Rockwell UNI 562-63; Vickers UNI 3037; *tecnológicos: de doblado* (UNI 564); *de embutición* (UNI 3037); *de deslizamiento viscoso* para aceros y aleaciones resistentes a temperaturas elevadas (UNI 3273); *de fatiga* (UNI 3964); etc.

Envejecimiento. Es una alteración de las propiedades físicas (a veces también químicas) que presentan espontáneamente algunos materiales en el transcurso del tiempo. Parece debido a variaciones de estructura. En general, el envejecimiento repre-

senta un empeoramiento de las características mecánicas (por ej., en los aceros, en la goma, etc.).

Envejecimiento *(artificial)*. Tratamiento térmico que tiene por objeto acelerar las variaciones de las propiedades físicas y tecnológicas que se producirían con excesiva lentitud por envejecimiento natural. Consiste en un calentamiento a temperatura algo superior a la ambiente (o en una serie de oscilaciones pendulares alrededor de la ambiente). Se aplica a algunos productos siderúrgicos que han experimentado el tratamiento de *solubilización* (v.) (UNI 3354).

Equilibrado *(de masas giratorias)*. Cuando un cuerpo gira alrededor de un eje, si interesa que la rotación se efectúe con movimiento regular, se ha de proceder al *equilibrio estático* (para que el eje de rotación, no vertical, pase por el baricentro o c.d.g. del cuerpo que gira) y al *equilibrado dinámico* (por el que se anula el par resultante del sistema de fuerzas de inercia en movimiento de rotación uniforme). Tanto el equilibrado estático como el dinámico se efectúan mediante la adición de masas suplementarias fijadas rígidamente al cuerpo que gira, en el sitio conveniente, que, para el equilibrado dinámico, se determina haciendo girar el cuerpo en máquinas especiales.

Escariado. Los agujeros de pequeño diámetro, ciegos o pasantes, pueden, después de taladrados, escariarse, o sea alisarse por medio de los *escariadores*, herramientas múltiples que dejan el agujero al diámetro deseado con buena precisión. Los escariadores generalmente son de empleo manual. Los grandes agujeros pasantes se mecanizan al diámetro pedido mediante *máquinas escariadoras* de gran precisión y coste elevado. Se dividen en dos clases: *a)* para piezas de poco peso; en éstas el movimiento de alimentación se da a la pieza, que se coloca convenientemente sobre una mesa portapiezas, animada con un movimiento de avance; la mesa puede moverse también en dirección vertical; *b)* para piezas de gran tamaño y peso; en este caso la máquina se llama también barrenadora y puede estar construida en diferentes formas; el movimiento de alimentación, sin embargo, lo tiene siempre la herramienta; el husillo (horizontal) puede subir o bajar para ponerlo a la altura necesaria. Las operaciones de escariado de poca importancia pueden también efectuarse por medio de brocas radiales.

Escarpeado. Separación con pistolete de las partes de un lingote en las que se noten grietas. Su objeto es averiguar la profundidad de las grietas para ver si el lingote es aprovechable.

Escopleado. Operación que se efectúa a mano mediante el escoplo, con el que se quitan de piezas metálicas (o de madera o de otro material sólido) las protuberancias o rebabas inútiles que puedan presentar. Se aplica especialmente a piezas moldeadas de fundición.

Esferoidización. Es un tratamiento térmico que consiste en un calentamiento seguido de un enfriamiento, con objeto de dar a la cementita de un acero la forma globular, a fin de mejorar su estructura, sea a efectos de maquinabilidad o en vista de ulteriores tratamientos. El calentamiento ha de ser prolongado y a una temperatura un poco por debajo del límite inferior de la zona crítica: el enfriamiento ha de ser más bien lento.

Esmaltado. Revestimiento en caliente de la superficie de una pieza metálica o de cerámica con una capa de una adecuada substancia vítrea, con objeto de protegerla, impermeabilizarla o decorarla.

Esmerilado. Término general que comprende todos los procedimientos de acabado superficial con muela o con abrasivo encolado sobre soportes adecuados (tela, papel, etc.) (v. *Esmerilado fino*).

Esmerilado fino. Es un procedimiento de acabado superficial de piezas mecánicas que permite rebajar la aspereza a valores de magnitud del orden de la μ. El pulimento se efectúa con máquinas adecuadas *esmeriladoras* mediante adecuados polvos abrasivos finísimos, aplicados sobre soportes mecánicos convenientes (fundición, latón, cobre, etc.), en forma de pasta, o mezclados con aceite o petróleo. También se puede efectuar con muelas de grano finísimo. Antes del esmerilado fino se han de rectificar las piezas cuidadosamente.

Estampado. Modelo plástico para la producción en serie de piezas mecánicas, macizas o de chapa, aprovechando la maleabilidad en caliente o en frío del material. El estampado se efectúa haciendo actuar sobre el material colocado entre la estampa (punzón) y la contraestampa correspondiente (matriz), la presión estática producida por una prensa, o bien la presión dinámica (percusión) de un martinete o martillo pilón. La estampa y la contraestampa se construyen de acero al níquel, de gran tenacidad. El estampado se efectúa con frecuencia en varios tiempos, siendo la primera fase de modelado previo, seguida de una fase de acabado. Se aplica este procedimiento a muchos tipos de acero, de latón, de aluminio y aleaciones correspondientes.

Estampado de materias plásticas. Las materias plásticas *termoestables* se estampan por comprensión en una estampa caliente. Pueden ponerse en la estampa partes metálicas que se hayan de incorporar a la pieza (por ej., contactos, tornillos, etc.). Para las materias *termoplásticas* se calienta previamente el material que luego se inyecta en la estampa que se mantiene *fría*. Por esto este procedimiento de estampado se llama *por inyección*.

Estañado. Revestimiento de la superficie de un metal con una capa de estaño para protegerla de la acción de los agentes atmosféricos o de sustancias que podrían corroerla o dar productos tóxicos al combinarse con el metal que se ha de estañar. La chapa de hierro estañado se llama *hojalata*. Tiene gran aplicación el estañado en los enseres de cocina de cobre. Los conductores eléctricos de cobre, aislados con goma, se han de estañar para proteger el cobre de la acción del azufre contenido en la goma.

Eutéctica *(aleación)*. Es la aleación, mezcla de dos o más fases sólidas, que corresponde al punto de encuentro de dos o más líneas de solidificación, y que por lo tanto se solidifica a temperatura más baja que todas las demás.

Eutectoide *(acero)*. Así se llama el acero al carbono que tiene el 0,85 % de carbono; en estado recocido está constituido exclusivamente por perlita. Por lo mismo, el punto crítico A_1 alcanza el valor mínimo de 723° C.

Everdur. Aleación a base de cobre, con níquel (2-3 %) y silicio (2-3 %). Se templa a 700° C, reviene a $\sim$ 300° C y adquiere gran dureza; carga de rotura de 70 kg/mm².

Excéntrica (v. *Leva*).

Extrusión. Es un procedimiento de trabajo de los metales, en caliente o en frío, basado en su maleabilidad. Ejerciendo una fuerte presión sobre una pieza de metal, de volumen conveniente (pequeños bloques, lingotitos, pastillas, etc.), se puede, si es maleable, hacerlo pasar a través de agujeros calibrados o de perfil especial, que varían su sección, o bien dan a la pieza la forma deseada (por ejemplo, pitilleras, etc.). El material adopta pues la forma deseada por compresión, mientras que en el laminado la adopta por tracción. Con extrusión en frío se pueden obtener piezas delgadísimas, hasta 0,1-0,2 mm.

Faesita. Material para la construcción de panales, muebles, etc., en sustitución del contrachapeado, obtenido desfibrando desperdicios leñosos, hidrolizándolos con vapor a alta presión y comprimiéndolos luego en caliente en prensas hidráulicas apropiadas. De este modo se obtiene la faesita compacta, impermeable, dura y con superficie pulida.

Fases de trabajo. Toda pieza mecánica se fabrica mediante una serie de operaciones, que se han de efectuar siguiendo un orden bien definido, de conformidad con los procedimientos tecnológicos del trabajo. La sucesión y el orden de las diferentes operaciones los establecen las oficinas técnicas, en vista de las máquinas, utillajes, aparatos de comprobación disponibles, etc. Se da el nombre de *fases* de trabajo a esta sucesión de operaciones que gradualmente conducen a la fabricación de la pieza. Ejemplo: la sola operación de practicar un agujero roscado en una plancha exige las tres fases siguientes de trabajo: *trazado* (para señalar la posición del eje del agujero); *taladrado; roscado* (con dos o más pasadas de machos). En la fabricación de una pieza de alguna complicación, serán necesarias numerosas fases, que muchas veces se tendrán que efectuar en varios departamentos. Y puesto que *la ejecución racional de las operaciones sucesivas está con frecuencia estrechamente ligada al dibujo técnico de la pieza, es indispensable que el dibujante, al proyectar el dibujo* (por ejemplo, al escoger el sistema de acotado) *tenga presente, por lo menos en su líneas principales, la sucesión de las fases de trabajo.*

Ferodo. Material, flexible o rígido, empleado para revestir los tambores de los frenos, las superficies de los embragues de fricción, etc., caracterizado por presentar un elevado coeficiente de rozamiento. Está constituido principalmente por amianto, o entretejido con hilos de algodón (tipo flexible) o tejido, encolado y prensado con resinas adecuadas (tipo rígido).

Ferroaleaciones. Son aleaciones especiales de hierro con otros elementos, que sirven para la producción de aceros especiales, para la adición de elementos aleantes al acero fundido (hornos Martin y hornos eléctricos). Algunas de las principales son: *ferro-silicio* (con 50-90 % de silicio); *ferro-manganeso* (con 50-75 % de manganeso); *ferro-silicio-manganeso (spiegel); ferro-cromo* (con 55-65 % de cromo); *ferro-tungsteno* (con 70-80 % de tungsteno); *ferro-molibdeno* (con 35-45 % de molibdeno); *ferro-vanadio* (con 50 % de vanadio); y otras.

Fijación. Bajo esta denominación se indica el dispositivo (o dispositivos) que en las máquinas, sirve para fijar sin posibilidad de variación, la posición de las piezas, durante el mecanizado en serie, respecto a la herramienta o herramientas que deben mecanizarlas. Habrá, por tanto, fijaciones para las piezas y para las herramientas. En las piezas deberá, antes que nada, mecanizar los elementos de fijación (orificios, planos, ejes), que deben mantenerse a lo largo de toda la sucesión de mecanizados que deban sufrir las piezas. Las fijaciones de las herramientas consisten generalmente en pinzas, dientes de cabeza esférica, etc., fijados de acuerdo con los elementos de la fijación.

Flameado. (v. *Temple a la llama*) (UNI 3354).

Flexibilidad. Es una propiedad física de los cuerpos de doblarse más o menos, por la acción de un momento flector, es decir, si el cuerpo tiene forma de viga, bajo la acción de una fuerza que tiene una componente normal al eje de la viga y a una distancia más o menos grande de los apoyos o empotramientos que los sostienen. No se ha de confundir la flexibilidad con la elasticidad.

Forjado. Operación que se efectúa a mano o mecánicamente. Por la acción de repetidos golpes (mazas, martillos, martinetes, etc.), o de una presión estática (prensas), se obtienen de una pieza de forma bruta (lingote, bloque, llanta, pletina, barra, etc.), aprovechando la maleabilidad (generalmente en caliente) del material, elementos de la forma deseada, Generalmente se emplean estampas y contraestampas. Se pueden forjar aceros, aleaciones de cobre para operaciones plásticas y también las aleaciones ligeras que sean aptas para las operaciones plásticas. Temperaturas de calentamiento: para aceros, 900-950° C; para aleaciones de aluminio, 450° C; para aleaciones ultraligeras, de 280 a 380° C.

Fórmica. Laminado plástico que se halla en el comercio en forma de planchas de colores varios, de gran dureza superficial, bastante resistente al calor y a muchos reactivos. Constituido por resinas a base de urea y fenoles. Su aplicación principal es para recubrir.

Fosfatización. Tratamiento que se puede aplicar a algunos materiales metálicos para recubrir la superficie con una capa protectora resistente a los agentes exteriores. Se aplica especialmente a materiales férreos, después de limpiarlos por decapado, chorro de arena, etc. Hay varios procedimientos de fosfatización.

Fósforo. Metaloide, presente como impureza en muchos materiales metálicos (acero, fundición, etc.); generalmente, tiene una influencia negativa sobre las propiedades de los materiales, por lo que en los aceros de calidad se limita rigurosamente el porcentaje de fósforo. Se emplea como elemento desoxidante y de depuración en varias aleaciones de cobre (bronce, fosforoso, etc.).

Fragilidad. Propiedad de los cuerpos *frágiles* de romperse bruscamente por la acción de cargas variables o de golpes, sin deformaciones permanentes. Lo contrario de fragilidad es la *resiliencia*, que se determina para los materiales industriales mediante ensayos unificados.

Fresadora. Máquina-herramienta muy extendida en la industria mecánica por la diversidad de operaciones que puede realizar (planear y perfilar superficies, practicar ranuras de cualquier forma, tallar engranajes, surcos helicoidales, etc.). Trabaja con *fresas* (v.). Deja las piezas con buen acabado de superficies. En las fresadoras normales y universales la mesa portapiezas está sostenida en voladizo por una robusta ménsula. En la fresadora-planeadora la mesa está sostenida por unas guías. El árbol portafresas (husillo) es horizontal en todas las fresadoras, excepto en las verticales. Sobre la mesa portapiezas puede montarse un apropiado *aparato divisor, simple* o *con diferencial.*

Fresadoras para copiar. La fresadora puede estar provista de dispositivos que permitan la reproducción automática de perfiles. Otras fresadoras modernas permiten trabajar *por coordenadas,* o sea, permiten fabricar matrices, troqueles, etc., siguiendo directamente el dibujo, con movimientos automáticos de alimentación.

Fresas. Son herramientas múltiples, con varios dientes cortantes dispuestos sobre una superficie plana o cilíndrica o cónica o, en general, de revolución, en una forma cualquiera. En la tabla UNI 3900 se consideran el sentido de corte y el movimiento de los dientes que pueden ser *rectos* o *helicoidales.* Las fresas se pueden dividir en muchas clases, cada una de las cuales es apropiada para determinadas operaciones. A continuación indicamos las principales:
cilíndricas de cepillar, para planear superficies; los dientes (siempre helicoidales) tienen inclinaciones diferentes según el material que han de trabajar;
cilíndrico-frontales, para taladrar, cepillar, ranurado poco profundo, para refrentar: llevan dientes frontales y en su superficie exterior (cilíndrica);
de tres cortes, con dientes en las dos caras principales de un disco y en la periferia del mismo, a fin de poder practicar ranuras profundas;
de dos cortes (de disco), como las anteriores pero sin los dientes laterales, apropiados para pequeñas ranuras, chaveteros, etc.;
frontales de mango, para fresadoras verticales (de dos y tres cortes, para ranuras T, de granete, de lima, etc.); tiene diversas aplicaciones (p. ej., para matrices);
de perfil constante (destalonado), que conservan el mismo perfil después de cada afilado; figuran entre éstas las *fresas de módulo* (para el tallado de engranajes);
de perfil complicado, para practicar ranuras y cortes de forma especial.

Fundición a presión *(fundición inyectada).* En un procedimiento de moldeo por el que el metal líquido se inyecta y solidifica en el molde a alta presión; se aplica principalmente a aleaciones no férreas (generalmente aleaciones ligeras) moldeadas en coquilla (v.), para producciones en grandes series de piezas de poco peso y de pequeñísimo espesor (a veces menor de 1,5 mm.).

Fusión. Proceso de trabajo de los metales por el cual se hacen pasar al estado líquido y se vierten en moldes adecuados, en los que se solidifican tomando la forma de la pieza deseada. Así se obtiene la llamada *pieza moldeada.* La operación de fusión se llama moldeo o *colada* (v.). Un metal o una aleación se pueden modelar por fusión, si son fusibles industrialmente, es decir, si pueden fundirse a una temperatura que se pueda alcanzar técnicamente sin dificultad y si en estado líquido tienen la fluidez necesaria para llenar el molde sin discontinuidad ni sopladuras, sin producción de rechupe al enfriarse, en una palabra, si pueden dar piezas sanas. El estudio de las piezas que se pueden fabricar por fusión exige especial cuidado de parte del dibujante.

Galvanizado. Revestimiento de las piezas metálicas con una capa superficial de cinc, con objeto de protegerlas. La capa de cinc protege de oxidación el metal revestido. Se usa especialmente para recubrir chapas de hierro.

Gargantas *(de descarga).* Son ranuras practicadas en los tornillos en la base de la rosca, para facilitar la extracción de las herramientas de roscar. Las gargantas de descarga están unificadas en las tablas UNI 4152 y 4153. Hay también gargantas de descarga en las partes cilíndricas rectificadas.

Gargantas *(de poleas y garruchas).* Ranuras practicadas en la superficie exterior de las poleas y garruchas empleadas para transmisiones por cables, por correas trapeciales, etc. Las gargantas de estas últimas están unificadas (UNI 490).

Generador (llamado también *fresa-madre*). Es una fresa cilíndrica especial, con unos dientes dispuestos según una hélice de varias espiras (como las de un tornillo), que son del tipo de perfil constante. Se usa para el tallado de las ruedas dentadas en las máquinas de dentar en las que el generador y la rueda tienen el apropiado movimiento de alimentación: el generador y la rueda se mueven como un tornillo helicoidal y la rueda dentada acoplada.

Goma. Material natural o sintético, que, reaccionando con el azufre (vulcanización), se transforma en goma elástica o bien en *ebonita,* según el tipo de vulcanización.

Gorrón. Órgano que realiza el acoplamiento giratorio de dos partes de un mecanismo. Hay gorrones de *articulación* (sin cabeza, con cabeza, con cabeza plana y extremo roscado,

con cabeza de anilla, esféricos); *de apoyo; de quicio* (de disco y anulares).

Grafito. Es uno de los estados alotrópicos del carbono; se halla también en la fundición. Puede tener diferentes estructuras (laminar, globular o nuclear) y en consecuencia comunica diferentes propiedades y características mecánicas.

Grafitización. Descomposición de la cementita de la fundición en hierro y carbono (grafito) (v. *Recocido de grafitización*).

Grano. En las fracturas de las aleaciones metálicas, de aglomerados (por ej., muelas), etc., se ofrece a la vista una estructura granular; según el tamaño de estos granos se dice que el grano es grueso, mediano, fino, finísimo, etc, Para definirlo en las muelas se mide el número de mallas, por pulgadas, de las telas metálicas de los tamices empleados para separar los granos del abrasivo; para granos muy finos, impalpables, de esmeril, se puede determinar el grano por la velocidad de sedimentación en agua por la sola acción de la gravedad.

Granos de retención. Son generalmente pequeños mamelones, de cabeza esférica, situados dentro de agujeros cilíndricos, que sirven de *referencia* (v.) para la fabricación en serie (por ejemplo, de bloques de motor de automóvil, etc.).

Herramientas. Los trabajos mecánicos, a mano o con máquinas, se efectúan con útiles llamados *herramientas*. En la práctica se da especialmente el nombre de herramienta a los utensilios aplicados a las máquinas. La parte de la herramienta destinada a montarla en la máquina se llama *fijador;* su forma depende del tipo de herramienta. Las brocas tienen el fijador (llamado *mango)* cilíndrico o cónico, con diente o con agujero roscado; las fresas pueden sujetarse con mango cilíndrico (fresas cilíndricas) con cubo y lengüeta, etc. Los fijadores de herramientas están casi todos unificados (UNI 434-441; 521-522; 1935; 1944-1946; 3220-3222; 3809-3810; 4090). Igualmente están unificadas la forma y la nomenclatura de muchas herramientas; herramientas para torno, limadoras, cepilladoras mortajadoras (UNI 3401-3406); herramientas con plaquita de carburos (UNI 4101-4111); herramientas con cabeza soldada (UNI 4154-4156). Las *fresas* están unificadas en las tablas 3899-3916; las *brochas* en las tablas (UNI 4116-4120); las puntas para matrices y los escariadores (UNI 442, 449, 450; 523-538; 3223; 3806-08; 3980-81).

Herramientas de roscar. Se emplean para el roscado exterior de tornillos y pernos de poco diámetro. Los cojinetes corrientes (tipo cerrado y abierto, UNI 539 ÷ 546) se emplean para roscar a mano: para el roscado mecánico en máquinas automáticas y semiautomáticas se emplean herramientas automáticas compuestas de peines y provistas de abertura de trinquete (que funciona al iniciar la carrera de retroceso).

Hidronalio. Aleación de aluminio con 5 ÷ 7 % de magnesio, 0,2 ÷ 5 % de manganeso, menos del 0,40 % de hierro y hasta el 0,2 % de silicio. Es más resistente que las otras aleaciones ligeras a la corrosión marina. Se puede forjar, estampar y tratar térmicamente.

Hilera. Se da este nombre al órgano fundamental de las máquinas trefiladoras, constituido por una plancha de fundición dura o de acero resistente al desgaste, con un agujero o una serie de agujeros de diámetros gradualmente decrecientes, por el cual o los cuales se va pasando un redondo de diámetro ligeramente mayor, por un esfuerzo de tracción. El material va alcanzando, por lo tanto, progresivamente el diámetro deseado. Muchas formas de tubos, alambres y barras de sección poligonal, etc., pueden fabricarse por este procedimiento. La máquina con que se efectúa el estirado de metales, se llama *banco de estirar;* para materias plásticas, goma, etc., tiene otra estructura. Antes del estirado de los metales se han de eliminar las escamas de óxidos de su superficie (decapado); el estirado necesita siempre una buena lubricación y se efectúa siempre en frío.

Hipereutectoides *(aceros).* Es el nombre específico que se da a los aceros con un contenido de carbono superior al eutectoide, o sea comprendido entre 0,85 y 1,7 %.

Hipoeutectoides *(aceros).* Es el nombre específico que se da a los aceros con un contenido de carbono de 0 a 0,85 %, inferior por tanto al eutectoide.

Hojalata. Chapa de hierro estañada.

Hornos. Son los aparatos en que se ponen los materiales que, mediante la acción del calor, han de sufrir transformaciones de estado físico o químico o variaciones de estructura. Habrá, pues, hornos de fusión, hornos para tratamientos térmicos, etc. Cada tipo se distingue luego por la conformación, por el principio de funcionamiento, por la naturaleza de la fuente de calor, etc. Desde el punto de vista de la bondad del producto, cuando no es esencial el contacto de los productos de la combustión para la operación que ha de sufrir el material (por ej., altos hornos, hornos de nitruración, etc.), se obtienen los mejores resultados en los hornos en los que los materiales a tratar están aislados de toda clase de corrientes gaseosas, y por lo mismo en los hornos eléctricos. Tiene especial importancia para el dibujante el conocimiento de los *hornos eléctricos* para tratamientos térmicos, por cuanto se indica muchas veces en los planos los tratamientos que ha de sufrir un material, con indicación de la temperatura y eventualmente de la duración de cada tratamiento. Estos hornos frecuentemente constan de dos cámaras de calentamiento, una de *precalentamiento lento* y una de calentamiento, rápido hasta alcanzar la temperatura final. Ambas cámaras están provistas de regulación automática de temperatura. Cuando el tratamiento térmico se ha de efectuar sobre piezas pequeñas y es preciso asegurar con la mayor precisión la uniformidad del calentamiento y los grados de temperatura alcanzados, se emplean hornos de baños de sales.

Husillo. Según la definición del UNI, es el árbol de la máquina herramienta que transmite el movimiento de trabajo a la pieza (por ej., la fresadora). Por lo cual, la denominación de husillo o auto-centrante del torno o de la taladradora está equivocada. El husillo puede ser lleno o hueco (taladrado).

Intercambiabilidad *(de piezas).* Es el principio fundamental de la *fabricación en serie* ampliamente explicada en el texto. Para que varias piezas sean intercambiadas, o sea, que se puedan reemplazar *sin ningún trabajo de adaptación,* es necesario que dichas piezas tengan unas medidas comprendidas dentro del campo de tolerancia fijado en el proyecto.

Intervalo crítico de calentamiento. Es, para los aceros hipoeutectoides el comprendido entre los puntos críticos Ac_3 y eutectoides el comprendido entre los puntos críticos Ac_1 A_{cm} (v. *Diagrama*, pág. 528) (UNI 3354).

Intervalo crítico de enfriamiento. Es, para los aceros hipoeutectoides, el comprendido entre los puntos Ar_3 y Ar_1: para los aceros hipereutectoides, entre Ar_{cm} y Ar_1 (UNI 3354).

Invar. Aleación metálica con un coeficiente de dilatación bajísimo, casi nulo. Se compone de hierro (64 %) y níquel (36 %). Se substituye actualmente por aleaciones ternarias que, teniendo propiedades análogas, presentan en cambio un coeficiente de dilatación prácticamente invariable en el tiempo.

Isoperm. Aleación magnética de permeabilidad constante.

Isotropía. Característica de una sustancia que se refiere a una propiedad determinada de carácter vectorial, por la cual se manifiesta dicha pieza propiedad del mismo modo en cualquier dirección. Así, por ejemplo, una pieza de acero producida por fusión, es generalmente isótropa para las propiedades mecánicas: no lo es la madera.

Laberinto *(cierre de).* Cuando no sea preciso una junta de cierre absolutamente hermético para fluidos (generalmente vapores o gas a presión) entre elementos con movimiento giratorio relativo de uno respecto al otro, siendo suficiente limitar a valores muy bajos la pérdida del fluido, se puede recurrir a los cierres de laberinto. Consisten éstos en disponer alternadas en el camino que el fuido deba seguir para fugarse, unas cámaras y estrangulaciones, por ejemplo, con anillos fijados en la parte giratoria, alternando con otros, montados en la parte fija. Al pasar a través de las cámaras y estrangulaciones se ocasionan grandes pérdidas de presión del fluido, resultando muy limitada su pérdida.

Laminación. Trabajo de materiales metálicos en caliente o en frío, que se efectúa aprovechando la maleabilidad de los mismos, mediante los laminadores, en los cuales el material, forzado a pasar entre dos cilindros giratorios, cuya periferia tiene una forma adecuada a la operación que se ha de realizar, produce

la sección deseada, con un número variable de pasadas. Hay laminadores para chapas, para perfiles, etc.

Laminado. Se indican con este nombre dos operaciones distintas: *a*) una que consiste en curvar las chapas para la construcción de depósitos, tubos, calderas, etc., mediante máquinas de 3 ó 4 rodillos cilíndricos; *b*) otra que utiliza máquinas para roscar por laminado, aprovechando la maleabilidad en frío del material de que están formados los tornillos.

Laminados. Semifabricados de material férreo, cobre, latón, aluminio, aleaciones varias, obtenidos de los lingotes mediante sucesivas pasadas entre los cilindros de los laminadores (v. *Laminación*).

Lapeado. Es un acabado casi especular de las superficies de acero templado, de grado superior al rectificado. Se acostumbra indicar en los dibujos con 4 triángulos contiguos, pero sobre esta indicación no hay normas hasta hoy. Se puede efectuar a mano con abrasivos finísimos que se frotan sobre la superficie mediante una herramienta especial, sirviéndose de un lubricante adecuado, o bien con máquinas especiales de poca velocidad (v. *Esmerilado fino*).

Latón. Nombre con que se indican las aleaciones de cobre y cinc, y eventualmente con otros elementos aleantes. Se dividen en ordinarios y especiales:
Ordinarios.—1.º *título:* Zn 28 ÷ 37 %. Más blandos y maleables, sirven para embutir y estampar en frío; 2.º *título:* Zn 37 ÷ 48 %. Más duros, de fácil endurecimiento: no sirven para trabajar en chapas; *especiales:* Zn 38 ÷ 40 % sirven para *moldeo; blanco* con Zn 55 % duro y frágil; para soldar, etc.
Especiales.—Al aluminio (1 ÷ 10 %) duros, tenaces; *al níquel* (1 ÷ 3,5 %) y *al manganeso* (0,5 ÷ 3,5 %) de resistencia mecánica y a la corrosión; *metal Delta* (v.) *Muntz* (v.), etc.

Leva. Es una pieza (*excéntrica*) que teniendo un perfil adecuado está fijada a un árbol que gira con un movimiento uniforme. El perfil de la excéntrica está estudiado para que el elemento accionado por la misma (rodillo, caja, válvula, etc.), mediante una palanca en ángulo o un balancín, adquiera un movimiento alternativo según una ley establecida. Tiene aplicación en la distribución de los motores de combustión interna, en las máquinas herramientas semiautomáticas y automáticas, etc.

Levigado. «*Honing*». Acabado superficial efectuado con máquinas que emplean muelas blandas y líquido refrigerante. Se aplica especialmente al acabado de los cilindros de los motores de explosión.

Limadora. Máquina herramienta que con una herramienta de corte tipo de torno y cepilladora, se utiliza para el planeado de superficies, mediante arranque de viruta. En esta máquina la herramienta se mueve y la pieza avanza de modo intermitente, fijada en la mesa en forma de caja con ranuras adecuadas. Sirve pues la limadora para el mecanizado de piezas pequeñas de poco peso. La herramienta, en las limadoras usuales, se fija en el porta-herramientas que se desliza en unas guías rectangulares animado de un movimiento rectilíneo alternativo, producido generalmente por un mecanismo de corredera oscilante; la carrera se varía a voluntad, desde unos pocos centímetros hasta un máximo de 80-100 cm (¡raro!). Para piezas de mayor peso y volumen se emplean las cepilladoras.

Lingotes. Moldeados de acero, colados en moldes adecuados, destinados a sufrir sucesivas operaciones de forjado o laminación. Su sección puede ser muy variada (cuadrada, hexagonal, octogonal, circular, etc.) y su forma es siempre más o menos convergente. Su peso es muy variable (generalmente de 1500 a 7000 kg).

Llantas. Se designan con este nombre los semiproductos obtenidos por laminación en caliente de los lingotes y que no son *desbastes*, ni *palanquilla*, ni *pletinas* (v.).

Machos (*fundición*). Cuando una pieza que se ha de moldear ha de presentar un hueco, se obtiene éste, colocando en el molde una pieza llamada *macho* o *noyo* de forma igual al hueco que se desea obtener, y confeccionado con materiales que, después del moldeo, sean frágiles y se puedan sacar con facilidad. Se usan también machos para obtener en las piezas órganos que de otra forma no se podrían moldear, ni aun con modelos. Los machos se han de sostener en la posición exacta mediante los *soportes* de machos.

Maderas (*clasificación*). Las maderas se pueden dividir, según su esencia, en *maderas duras* (esencia fuerte) y *blandas* (esencia débil). Para cada esencia hay varias clasificaciones, desde el punto de vista comercial, según la ausencia de defectos (primera clase) o la presencia de pequeños defectos (segunda clase) o de defectos notables (tercera clase). Los defectos de la madera están clasificados en la tabla UNI 3016.

Magnalio. Aleación de aluminio con magnesio (del 4 al 10 %), actualmente substituida por el *hidronalio* y aleaciones análogas.

Maleabilidad. Propiedad fisicotecnológica de los materiales de poderse reducir a hojas en frío o en caliente, por la acción de una fuerte presión. Se utiliza en todos los trabajos plásticos (forjado, laminado, extrusión, etc.).

Maleabilización (de la fundición) (UNI 3354). Es un calentamiento de piezas de fundición blanca de adecuada composición química a temperatura superior a la de transformación de la perlita en austenita, seguido de un mantenimiento de suficiente duración a dicha temperatura y de un enfriamiento lento. El material adquiere características especiales de tenacidad y ductibilidad. Se emplean dos procedimientos: el *americano* (en atmósfera neutra o moderadamente reductora, para que se produzca la descomposición completa de la cementita en ferrita y carbono de recocido: fundición *de núcleo negro*); *europeo* (en atmósfera oxidante, para obtener una descarburación más o menos completa: fundición *de núcleo blanco*). Se conoce también el procedimiento «Robiette», que no se ha tenido en cuenta en la unificación italiana.

Mandriladoras. Así se denominan los tipos de *máquinas escariadoras* (v. *Escariado*) en las que la herramienta se desplaza siguiendo el eje del husillo, al que se da también el movimiento de alimentación.

Manganeso. Metal con un peso específico 7,3 kg/dm³, empleado en la preparación de aceros especiales y como desoxidante y desulfurante de la fundición. Entra también en la composición de algunos bronces y latones, en aleaciones para resistencias eléctricas (manganina), etc.

Manganina. Aleación de cobre con el 12 % de manganeso y 4 % de níquel se emplea para fabricar resistencias patrón debido a que tiene un coeficiente de temperatura casi nulo y tiene una elevada resistividad.

Mangueta (*de vagones de ferrocarril*). Es el gorrón del eje al que mediante la caja de engrase, se aplica la carga. En los vagones y coches de ferrocarril está situada en el exterior de las ruedas: en las locomotoras, en el interior.

Mangueta articulada (*de automóviles*). Es el órgano en el que va montada la rueda: se articula en el extremo del eje.

Manguito prensaestopas. Es el nombre que se da con frecuencia al dispositivo que asegura el cierre de los árboles giratorios (o que se desplazan axialmente), cuando han de atravesar las paredes de recipientes que contienen líquidos a presión: se compone del manguito, de la empaquetadura y del prensaestopas. En la unificación naval se da al conjunto el nombre de «prensaestopas».

Manivela. Elemento del mecanismo articulado para convertir el movimiento rectilíneo alternativo en movimiento circular. En el sentido más amplio está constituida por un brazo, calado a un árbol y el *botón* o gorrón con el que se articula con la biela. Esta manivela se llama *de extremo*. Hay también *manivelas intermedias* y *manivelas acopladas*, elementos constitutivos de los *cigüeñales* o *árboles acodados*.

Mannesmann (*tubos*). Son tubos sin soldadura de acero muy dulce (hierro homogéneo) o acero semiduro, fabricados mediante sucesivas pasadas por un laminador especial que efectúa sucesivamente el desbaste con agujero, el acabado, el pulido y el calibrado del tubo.

Máquina de dividir. Sirve para trazar las divisiones de las escalas graduadas. Puede ser *lineal*, trazando las divisiones sobre una escala recta; o circular si traza las divisiones de los arcos. Cuando (como ocurre en la fabricación en serie, por ejemplo, los pies de rey, goniómetros, etc.) las escalas que se han de marcar son uniformes, las máquinas pueden ser automáticas. El órgano fundamental de las máquinas lineales es un *tornillo micrométrico*: en las máquinas de dividir circulares de poca precisión, el órgano fundamental es *el cabezal de dividir* o *di-*

visor, semejante al de una fresadora: para obtener más precisión se utilizan máquinas muy exactas.

Máquina de limar. Efectúa un trabajo análogo al de la limadora, pero su herramienta de trabajo es o bien una lima recta de movimiento rectilíneo alternativo o bien una lima de disco (con movimiento de rotación alrededor de un eje vertical u horizontal, según que su trabajo sea frontal o lateral).

Martensita. Estructura cristalina constituida por una solución sólida de carburo de hierro (cementita) en el hierro α. Es característica del acero templado: puede formarse también por el revenido de la austenita a baja temperatura. La martensita presenta estructura acicular, es dura y frágil. Calentando la martensita, se descompone, con separación de cementita, obteniéndose sucesivamente la estructura *troostita, osmondita, sorbita* (acero templado revenido); continuando el calentamiento se obtiene la perlita (acero recocido).

Martillo pilón. Máquina utilizada para estampar piezas, que consiste esencialmente en una masa de gran peso *(pilón)* que elevada a altura conveniente, cae por la acción de la gravedad, adquiriendo considerable energía cinética, con la que se consigue la deformación para el forjado con estampa.

Martinete. Máquina que ejecuta mecánicamente trabajos que se efectúan a golpes de martillo o mazo, o sea, operaciones *de forjado*. Hay muy diversos tipos de martinete, siendo los más empleados el *de vapor* y el neumático. El bloque metálico sobre el que se coloca la pieza que se ha de forjar se llama *yunque*: el *mazo* (pilón) es la parte móvil. Muchas veces se fija al mismo una *estampa* y al yunque la correspondiente contraestampa. Para forjar grandes piezas se emplean más frecuentemente el *martillo pilón* y la *prensa.*

Masonita. Material en placas, obtenido artificialmente tratando con vapor a alta presión materiales leñosos de desperdicio. Después de este tratamiento se procede a una laminación y prensando a temperaturas variables de las que depende el tipo de masonita obtenido. Se puede producir masonita *aislante* (para aislamientos térmicos y acústicos); *normal* y *media* para revestimientos ordinarios de paredes; *prensada*, para construcción de muebles, tabiques etc., en sustitución de contrachapeados; templada, muy dura y resistente, empleada para las superficies planas de los bancos de trabajo, para pavimentos etcétera.

Matrices. Propiamente es el elemento fijado al punzón de una prensa para estampar, embutir, desbarbar piezas estampadas, punzonar (por ejemplo, chapas de máquinas eléctricas), etc. A veces sin embargo se da el nombre de matriz al par troquel-matriz. La matriz propiamente dicha tiene formas diversas según el trabajo que deba efectuar. Para el punzonado, la matriz ha de estar constituida de forma que la pieza, después del punzonado, se separe del punzón. Para embutir, la matriz ha de constar de un prensa chapas y del extractor que levanta la pieza embutida.

Mazarota. Se designan con este nombre los apéndices que, al final de una colada quedan unidos a las piezas moldeadas, especialmente en la parte superior (en la posición de colada). Estas mazarotas se disponen previamente en el molde con tres objetos principales: *a)* aumentar la carga estática del metal fundido; *b)* establecer una zona de acumulación de impurezas y escorias, que tienen tendencia a flotar sobre el metal líquido; *c)* ceder metal líquido a la pieza que se moldea, cuando, a causa de la contracción, se produzcan rechupes. Para lograr esto último se unen las mazarotas a la pieza que se moldea mediante una sección de ataque que no se solidifique antes que la pieza.

Metalrosa (v. ***Antifricción***).

Micalex. Aislante eléctrico obtenido con la incorporación de polvo de mica en vidrio fundido.

Micanita. Aislante eléctrico, obtenido encolando con barnices aislantes, escamas, hojas y recortes de mica que se prepara en hojas superpuestas en el número necesario para formar el espesor deseado: el encolado se efectúa en caliente y bajo presión. La micanita puede tener o no un soporte de papel o tela. Se puede imprimir, obteniendo cajitas para revestimiento de canales y huecos de máquinas eléctricas.

Michell *(cojinete* o *soporte).* Es un cojinete de empuje, formado por sectores o patines oscilantes: éstos, durante la rotación del árbol, se orientan automáticamente, tomando la inclinación que origina un gradiente de presión en el lubricante comprimido entre los patines y la superficie plana de la pieza. Este gradiente de presión da al cojinete una elevadísima capacidad de apoyo, porque los patines resbalan, por así decirlo, sobre la capa de lubricante comprimido. Se aplican en los grandes alternadores y motores verticales, en los ejes de los buques, etc.

Moldeo. El moldeo es una operación con la que se obtiene en la masa de tierra o arena de fundición, el hueco que ha de llenar el metal fundido, dando, una vez solidificada, la pieza deseada. El moldeo comprende también la colocación conveniente de los *machos* eventuales, correspondientes a las cavidades que han de quedar en la pieza. Cuando el molde se emplea sin secar la arena, una vez retirado el modelo se dice de arena en *verde*: este método de moldeo se aplica, generalmente, cuando la pieza no se ha de mecanizar después de moldeada, porque la pieza presenta un notable endurecimiento superficial. Si, por el contrario, la pieza se ha de someter a sucesivas operaciones, se ha de moldear en seco, o sea, que el molde se ha de secar previamente en estufa apropiada. El moldeo puede hacerse, además, sin empleo de modelo, modelando la arena con plantillas adecuadas, cuando se trata de cuerpos de revolución (por ej., poleas, volantes, etc.).

Molibdeno. Metal empleado en la fabricación de los aceros especiales al molibdeno, de gran resistencia a la oxidación, útil además para varias aplicaciones eléctricas, electrodos de hornos eléctricos para fusión del vidrio, soporte de filamentos de lámparas eléctricas, en los tubos Röntgen, etc. Tiene un elevado punto de fusión (2620° C) y se obtiene en polvo: se transforma por sinterización en barritas, que a veces se estiran o se laminan en caliente. En el horno eléctrico se produce el ferro molibdeno, con 35 ÷ 45 % de molibdeno.

Mortajadora. Es una máquina-herramienta que trabaja de modo parecido al de la *limadora,* pero moviendo la herramienta en sentido vertical, perpendicular a la mesa portapiezas. Puede, pues, practicar ranuras, por ejemplo, chaveteros, en una polea, y, en general, superficies prismáticas. El movimiento de alimentación se comunica a la pieza fijada en la mesa. Hay también mortajadoras para tallar engranajes, que son verdaderas máquinas de dentar.

Movimiento axial. En los automóviles corrientes de tracción posterior, el eje posterior, además de como eje, funciona como árbol motor: de aquí el nombre de *movimiento axial* o puente motor.

Muela. Se puede considerar como una herramienta múltiple, formada por innumerables gránulos del adecuado abrasivo, unidos entre sí mediante un apropiado *aglomerante.* Las muelas tienen generalmente forma de cuerpos de revolución. Sirven para afilar herramientas, para efectuar acabados especiales (esmerilado fino) o para dejar a la medida exacta, con tolerancias restringidas, piezas mecánicas de acero templado *(rectificado).* Las muelas se caracterizan por la naturaleza y el grano del abrasivo; por la dureza (que representa la tenacidad del *aglomerante* que une los gránulos abrasivos); por la forma o estructura (de disco, de cuchillo) y finalmente por la naturaleza del aglomerante (cerámico, silíceo, elástico). Para los metales duros se eligen muelas blandas; para materiales blandos muelas duras (no se ha de olvidar que *duro* y *blando* corresponden al aglomerante y no al abrasivo).

Muesca. Cuando una pieza mecánica presenta un saliente o un entrante (p. ej., las dos partes de una ensambladura en cola de milano), es decir, cuando la anchura inicial es menor que la final, se dice que la pieza presenta una muesca. La presencia de una muesca puede ofrecer un problema difícil para las diversas operaciones tecnológicas (p. ej., el moldeo por fusión) o una grave limitación para otras operaciones (p. ej., el estampado).

Mumetal. Aleación magnética que tiene una [illegible] análoga al permalloy, pero menor resistividad. [illegible] aplicaciones y protecciones magnéticas.

Muntz *(metal).* Latón especial con algo más del [illegible] de cobre, y algo menos del 50 % de cinc y un [illegible] porcentaje de manganeso.

Neopreno. Es un tipo de [illegible]

Nervaduras. Cuando una estructura metálica [illegible] ofrecer una resistencia a las deformaciones [illegible] puede resistir por sus dimensiones [illegible] plancha), se construye con unos [illegible] estructura.

dándole rigidez, sin aumentar notablemente su peso. Así, por ejemplo, se funden ya con nervios en la cara inferior los mármoles de comprobación, de trazado, etc. En otros casos, los nervios se sustituyen por el rebordeado del lado que se ha de reforzar (por ej., chapas de carrocerías, etc.). La adecuada disposición de los nervios ha de ser objeto de cuidadoso estudio por parte del dibujante.

Niples (o *entrerroscas*). Nombre derivado del inglés, que indica, o bien, las tuercas de forma especial que fijan y tensan los radios de las ruedas de bicicletas, motocicletas y eventualmente de automóviles, o bien unas cortas piezas de tubo roscadas que sirven para acoplar tuberías (UNI 356-361).

Níquel. Metal del grupo del hierro, tenaz, dúctil, maleable, ferro-magnético. Resistente al aire, agua dulce y salada, soluciones salinas y ácidos débiles. Se emplea para la fabricación de objetos (monedas, piezas de valor, recipientes, etc.), y como elemento de las aleaciones, a las que comunica inoxidabilidad, tenacidad, colabilidad, etc. El níquel se alea principalmente con el hierro (aceros al níquel), con el cobre (con o sin cinc), cromo, manganeso, cobalto, etc.

Niquelado. Revestimiento de la superficie de un metal ordinario con una capa de níquel, con fines de protección y decorativos. Se aplica generalmente por procedimiento galvánico.

Níquel cromo (o *nicrom*) Aleación de níquel y cromo (eventualmente con hierro y manganeso en menor proporción) que se puede estirar y se emplea especialmente en la fabricación de resistencias eléctricas. El nicrom puro (sin otros elementos aleados) no funde hasta 1100° C.

Nitruración. Es un tratamiento térmico de cementación, que da gran dureza superficial a piezas mecánicas (ya rectificadas) de aceros especiales (aceros con cromo aluminio-molibdeno-manganeso) (UNI 3096). El tratamiento se funda en la absorción superficial de nitrógeno por parte de la pieza expuesta durante varias decenas de horas en hornos apropiados a unos 500° C a una corriente de amoníaco. Se forma una capa de nitruro durísima, a veces de pocas centésimas de milímetro, resistente a la corrosión, al desgaste superficial, aun a altas temperaturas, etc.

Normalizado. Es un tratamiento térmico de los aceros equivalente a un recocido que *no produzca* un engrosamiento del grano. Consiste en un calentamiento a temperatura superior al punto de transformación de los aceros (variable según la composición), seguida de un enfriamiento más bien lento, pero no mucho (para evitar el engrosamiento del grano del recocido) (UNI 3354).

Norton *(cambio o caja)*. Es un cambio de velocidades por engranajes de mucha aplicación en los tornos y en otras máquinas herramientas. Está constituido por una serie de engranajes del mismo módulo y de diámetros diferentes, calados en el árbol de accionamiento a diferentes velocidades. El árbol motor comunica el movimiento al árbol conducido mediante una rueda parásita, la cual, por la maniobra de una palanca con mango, y desplazándose longitudinalmente, puede engranar con las diferentes ruedas del árbol conducido, realizando las diferentes relaciones de velocidades. Es evidente que las maniobras del cambio se han de hacer con la máquina parada.

Packfong. Aleación metálica de cobre (50 %), níquel (30 %) y cinc (20 %). Estos porcentajes son aproximados. Esta aleación se llama también *argentán*.

Palanquillas (UNI 2638). Semifabricados, productos de laminación de los lingotes, de sección cuadrada, con el lado $\geq$ 40 mm y $<$ 130 mm; o rectangular con una relación de los lados $\geq$ 14 y un área de la sección $<$ 16900 mm².

Pantógrafo. Máquina que tiene como órgano característico un paralelogramo articulado, que permite reproducir a una escala determinada cualquier desplazamiento de una herramienta fijada en posición conveniente en dicho paralelogramo. En general el pantógrafo sirve para reproducir incisiones (por ej., letras de placas), para la fabricación de estampas, modelos, etc. El pantógrafo de tipo más sencillo es el *bidimensional*, que sólo sirve para trabajos que se puedan efectuar con el movimiento de la punta trazadora en un plano.

Patentizado, patenting. Es un tratamiento de *recocido isotérmico* (v.), que se aplica al acero de alto o mediano contenido de carbono, antes y durante los ciclos de trabajo para la fabricación de alambres y flejes, con objeto de obtener mayor ductilidad durante las sucesivas operaciones.

Pavonado. Tratamiento de las superficies metálicas de las piezas que consiste en la formación de una capa permanente bien adherida de óxido o de sulfuro, que las protege contra ulterior oxidación, de color gris o negruzco.

Perfiles. Con este nombre se designan las vigas o barras producidas en los laminadores, y cuya sección transversal tiene una forma dada o un perfil (en **L**, en **Z**, en **I**, en **T**, en doble **T**, en **C**, en **U**, etc.).

Perlita. Es el eutectoide constituyente de los aceros recocidos, con un porcentaje de carbono de alrededor de 0,85 % : está formado por una aleación o mezcla de ferrita *a* con cementita. Vista al microscopio metalográfico, la perlita se presenta en laminillas alternadas irisadas. Si el carbono se separa finamente dispersado, se tiene la perlita globular, que se obtiene con el tratamiento de esferoidización.

Permalloy. Aleación magnética con 18 % de hierro; 78,5 % de níquel; 0,5 % de manganeso; 3 % de molibdeno. Caracterizada por su elevadísima permeabilidad. Hay además otro tipo con sólo el 45 % de níquel, con menos permeabilidad. Tiene aplicación en telegrafía, telefonía, radio, etc.

Perminvar. Aleación magnética de hierro (30 %), níquel (45 %), cobalto (25 %) con una permeabilidad constante dentro de amplios límites del campo magnético.

Piñón. Es la rueda de menor diámetro de un engranaje. No debería limitarse su número de dientes: pero ordinariamente se denomina piñón únicamente una rueda dentada de menos de 20 dientes.

Planeadora. Máquina-herramienta de arranque de viruta, que tiene por objeto mecanizar superficies planas de grandes dimensiones en piezas mecánicas muy pesadas. Efectúa, pues, un trabajo parecido al de la limadora en piezas de poco peso. La pieza que se ha de planear se coloca sobre una robusta mesa porta piezas, que se desliza hacia adelante y hacia la derecha sobre adecuadas guías, con el movimiento conveniente para la operación. El movimiento de alimentación se comunica a la herramienta dispuesta sobre el adecuado carro, tanto en la carrera de ida como de vuelta. Hay planeadoras con carrera superior a los 10 m. Hay también planeadoras especiales, por ejemplo, *de foso*, empleadas para el mecanizado de piezas de peso extraordinario, en las cuales el movimiento de trabajo se comunica al puente que lleva la herramienta.

Plantilla *(para taladrado)*. Cuando en una serie de piezas se han de practicar uno o más agujeros o escariados, en posición muy exacta, se coloca cada pieza bajo la plantilla adecuada, construida de forma que permita el taladrado en la posición exacta, *sin necesidad del trazado* previo y que guíe la herramienta durante el mecanizado de la pieza, que ha de quedar bien sujeta a la plantilla. Cada plantilla se ha de estudiar cuidadosamente para cada pieza y ha de reunir numerosos requisitos, entre los cuales figura en primer lugar la facilidad y rapidez de introducción y extracción de la pieza que se ha de mecanizar y la seguridad de que las diferentes operaciones se efectuarán sin excepción en la posición exigida. Por este motivo las plantillas se consideran como un utillaje indispensable para el taladrado de piezas fabricadas en serie.

Plegado *(unión por)*. Unión de dos chapas metálicas mediante el plegado longitudinal de los bordes de contacto, estando superpuestas.

Pletinas (UNI 2638). Semifabricados producidos por laminación de lingotes, de sección rectangular y cantos redondeados o achaflanados en los lados, con un lado $>$ 150 mm y el otro comprendido entre 6 y 40 mm.

Precalentamiento. Para obtener una temperatura uniforme en toda la masa de una pieza que haya de someterse a un tratamiento térmico, se procede en algunos casos a un calentamiento previo hasta alcanzar una temperatura algo inferior a la exigida por el tratamiento, con velocidad moderada, en horno adecuado (UNI 3354).

Prensa. Nombre que se da a máquinas de varios tipos que, por accionamiento mecánico o hidráulico, producen una presión que puede alcanzar valores enormes (hasta centenares de toneladas). Hay prensas hidráulicas empleadas en operacio-

nes de forja, de acción continua (a diferencia de los martinetes, que trabajan por percusión) de embutición para estampado de materias plásticas, etc.; y prensas mecánicas, con excéntrica de manivela, o bien de tornillo y tuerca, de acción más rápida, que trabajan casi por choque, algunas automáticas, empleadas para trabajos de estampado, de punzonado, etc.

Primitiva. Es el nombre que se da a cada una de las dos superficies (o líneas) ideales, solidarias con las dos partes de un par cinemático, que, durante el movimiento relativo de dichas partes, *girarían la una sobre la otra* sin resbalar. Se consideran especialmente las circunferencias de todo juego de ruedas dentadas: corresponden al perímetro de las dos ruedas de fricción que darían la misma relación de transmisión: son el elemento fundamental para el cálculo y construcción de engranajes.

Pudelado. Procedimiento antiguo, actualmente abandonado, de obtención del hierro (acero dulce) de estructura más o menos fibrosa (no homogénea) partiendo de la fundición, fundida en hornos de reverbero: el carbono y el silicio se oxidaban dejando el hierro en estado pastoso que se martillaba para aglomerarlo y eliminar las escorias.

Puntal. En todas las estructuras de armadura, se da el nombre de puntal a las varillas o vigas sometidas a compresión. Para su cálculo, según sea la relación entre su longitud y la mínima dimensión transversal, se aplicarán las fórmulas para compresión simple o las de flexopresión (sólidos cargados de punta).

Punzón. Nombre que tiene varios significados. El que más interesa al dibujante se refiere al elemento activo del par *matriz-punzón* (v.); produce en la chapa una presión rápida suficiente para recortarla según el contorno interior de la matriz, o de la deformación plástica del bloque. Los punzones son de acero resistente a los choques y al desgaste. Los hay para trabajar en frío y en caliente (extrusión, embutición, etc.).

Punzonado. Se designan con este nombre varias operaciones mecánicas. Las principales son: *a*) perforación rápida de agujeros o de series de agujeros en chapas, mediante punzadora o prensa de excéntrica automática rápida (por ej., discos o sectores de chapa de inducidos de máquinas eléctricas); *b*) corte rápido de piezas de chapa, según un perfil de forma dada, mediante un punzón o un perfil cortante (por ej., discos de metal para monedas o medallas, chapas para transformadores o motores eléctricos, etc.); *c*) perforación en caliente de bloques, por ejemplo, de acero, con un punzón troncocónico, por la acción de golpes de mazo o de martinete.

Punzonadoras. Se indican con este nombre las máquinas que efectúan el *punzonado* (v.). Las hay accionadas a mano, por pedal, por motor, automáticas para producción en serie.

Pyrex. Es un vidrio de composición química especial con elevada proporción de sílice, caracterizado por un pequeño coeficiente de dilatación térmica. Esta característica lo hace resistente a las variaciones de temperatura (aunque no demasiado bruscas), y por lo tanto apropiado para recipientes de vidrio que se quieran calentar directamente, (pero de preferencia sobre telas metálicas que corten la llama), para aisladores eléctricos, etc.

Quemado. Un acero llevado a una temperatura próxima al intervalo de fusión, experimenta, o un principio de fusión en las uniones de los granos más fusibles que lo constituyen, o una excesiva segregación de sus constituyentes o bien a veces una penetración en el interior del material de oxígeno o de otros gases. Un acero en estas condiciones se dice que está quemado y no puede regenerarse (UNI 3354).

Quicios. Los árboles o los gorrones sometidos a fuerzas axiales que tienden a moverlos longitudinalmente han de estar provistos de adecuados soportes de anillos (árboles de transmisión) o de extremo (cojinetes).

Rasqueteado. Acabado superficial efectuado a mano, con rasquete, de superficies planas, de acero o fundición, cuando se exige gran precisión de acabado (por ej., guías de torno, escuadras, soportes de apoyo en V, etc.).

Rebordeadoras. Máquinas para cantear o rebordear chapas de poco espesor; son de pequeña potencia, pudiéndose accionar a mano o por motor.

Recalcado. Es una de las operaciones elementales de la forja, y concretamente aquella por la que se reduce la longitud de una pieza (o de una de sus partes) con el aumento correspondiente de las dimensiones transversales. Mediante martillazos o presiones, en sentido longitudinal, se consigue el hinchamiento de la pieza, hinchamiento que gracias a la destreza del operario, puede localizarse en la zona deseada (por ej., en un extremo para formar la cabeza de un remache o de un perno).

Recocido (UNI 3354). Bajo esta denominación se incluyen los tratamientos térmicos, producidos mediante diversos ciclos, caracterizados todos ellos por un calentamiento dentro del *intervalo crítico* (v.), por una permanencia prolongada a esta temperatura, y por un lento enfriamiento. El ciclo seguido se adapta a los resultados que se desee conseguir.

Recocido en blanco. Es un recocido efectuado al aire, tomando precauciones para evitar la alteración de la composición química del material (oxidación, carburación, descarburación, nitruración) y manteniendo generalmente brillante la superficie (UNI 3354).

Recocido de coalescencia (v. *Recocido de globulación*).

Recocido completo. El calentamiento se hace por encima del intervalo crítico; el enfriamiento es muy lento dentro del intervalo crítico, y después más o menos rápido. Sirve para homogeneizar el acero moldeado y para hacerlo más dulce para los sucesivos mecanizados (UNI 3354).

Recocido de globulación. Confiere facilidad para el mecanizado, buena tenacidad y, en todo caso, mejora la plasticidad en frío. Se sigue uno de los siguientes ciclos: *a*) Calentamiento hasta el límite inferior del intervalo crítico, permanencia prolongada a esta temperatura y enfriamiento lento; *b*) calentamiento hasta el límite inferior del intervalo crítico, y oscilación de la temperatura alrededor del punto alcanzado, seguida de un enfriamiento lento; *c*) calentamiento hasta una temperatura comprendida en el intervalo crítico (o superior) y permanencia prolongada en la misma. Enfriamiento muy lento en el horno, según la modalidad deseada; *d*) calentamiento hasta la temperatura Ac_1, permanencia prolongada en la misma, y enfriamiento según la modalidad fijada. Con estos tratamientos, el carbono de la microestructura del acero toma forma globular.

Recocido de grafitización. Su finalidad es transformar el carbono combinado (carburos) en carbono grafítico (de recocido). Se aplica a la fundición gris o a los aceros de composición química adecuada, calentándolos hasta las proximidades del intervalo crítico (o un poco por encima), manteniendo largo rato la temperatura a este valor, y prosiguiendo con un enfriamiento lento.

Recocido de homogeneización. Es un recocido completo en el que se prolonga el tiempo de permanencia a la temperatura máxima alcanzada en forma conveniente, para hacer más homogéneo el acero moldeado (UNI 3354).

Recocido isotérmico. Es un tratamiento que permite alcanzar los mismos objetivos que el recocido completo, con la ventaja de precisar menos tiempo de permanencia en el horno y mejorando la aptitud para el mecanizado. Consiste en calentar el material a una temperatura superior a la de la transformación de la ferrita en austenita, en la que la cementita se disuelve completamente en la austenita. Después de una permanencia suficientemente prolongada a esta temperatura, se efectúa un enfriamiento más o menos rápido, hasta una temperatura algo inferior a la de transformación de la austenita en perlita (A_1); después de una permanencia suficiente a esta temperatura, se sigue el enfriamiento hasta la temperatura ambiente (UNI 3354).

Recocido de maquinabilidad. Es un tratamiento que facilita el mecanizado en frío del acero, y elimina las tensiones internas. Consiste en un calentamiento hasta una temperatura algo inferior a la de transformación de la perlita en austenita, seguido de una permanencia a esta temperatura y de un enfriamiento más bien lento (UNI 3354).

Recocido pendular (v. *Recocido de globulación*).

Recristalización. Sirve para regenerar la estructura cristalina alterada con los tratamientos precedentes (materiales endurecidos). Consiste en un calentamiento a temperatura adecuada, permanencia en ella durante un tiempo suficiente y, finalmente, en un enfriamiento más o menos lento (UNI 3354).

Rectificado. Es un mecanizado de las superficies planas o cilíndricas o cónicas exteriores o interiores de piezas mecánicas, generalmente de acero templado. Esta operación se efectúa con máquinas especiales, llamadas *rectificadoras* (v.). El rectificado de superficies cilíndricas tiene por objeto principalmente dejar las dimensiones de las piezas a la medida exacta exigida, con tolerancias muy restringidas; para todas las superficies, en fin, el rectificado tiene por objeto el acabado de dichas superficies disminuyendo su aspereza hasta alcanzar valores más o menos bajos. El rectificado se indica en los dibujos con tres triángulos contiguos.

Rectificadora. Es la máquina-herramienta encargada de efectuar el *rectificado* (v.). La herramienta de esta máquina es la *muela*, que girando a gran velocidad, separa una finísima capa de la superficie que se mecaniza, en forma de diminutas partículas. La finura del mecanizado depende, entre otros factores, de la velocidad de la muela, del grano de la misma, de la lubricación, etc. Para el rectificado de *superficies planas*, pueden utilizarse dos tipos de rectificadoras, aunque en ambos el movimiento de alimentación, poseído por la pieza que se trabaja, es rectilíneo: *a*) *rectificadora de muela tangencial*, en la cual la muela mecaniza el plano según generatrices paralelas sucesivas, dejando los trazos rectilíneos; *b*) *rectificadora de muela de plato*, en la que la muela mecaniza el plano según coronas circulares, dejando los trazos del mecanizado en forma de arcos de circunferencia. Para el rectificado de superficies exteriores cilíndricas o con pequeña conicidad se utilizan las rectificadoras para exteriores y para las superficies internas, las rectificadoras para interiores. Las rectificadoras universales efectúan ambos tipos de mecanizado. Para el rectificado rápido de piezas cilíndricas, en serie, sólo por la parte exterior, pueden utilizarse las modernas rectificadoras excéntricas. Existen, además, numerosos tipos de rectificadoras especiales, adaptadas cada una de ellas a un mecanizado particular (rectificado de engranajes, eliminadoras de rebabas, afiladoras rectificadoras de calibres, lapeadoras, etc.).

Redondeado *(de superficie mecanizada)*. Tiene por objeto suprimir los cantos vivos entre dos superficies en ángulo recto o entre secciones que presenten una brusca variación. El enlace puede servir tanto para evitar el peligro que ofrecen las aristas vivas cortantes, como para eliminar secciones de poca resistencia.

Referencia. Bajo esta denominación se indica el dispositivo (o dispositivos) que, en las máquinas, sirve para fijar, sin posibilidad de variación, la posición de las piezas durante el mecanizado en serie, respecto a la herramienta, o herramientas, que deben mecanizarlos. Habrá, por tanto, referencias para las piezas y para las herramientas. En las piezas deberá, antes que nada, mecanizar los elementos de referencia (orificios, planos, ejes), que deben mantenerse a lo largo de toda la sucesión de mecanizados que deban sufrir las piezas. Las referencias de las herramientas consisten generalmente en pinzas, dientes de cabeza esférica, etc., fijados de acuerdo con los elementos de la referencia.

Regeneración. Para conseguir afinar el grano y mejorar las características de un acero sobrecalentado, se le efectúa una regeneración, tratamiento consistente en un *recocido* (v.) o *normalizado* (v.) o temple seguido de normalizado o recocido de endulzamiento, o una combinación de los mismos (UNI 3354).

Repujado. Galicismo usado para designar un embutido utilizando un torno especial.

Residuo. Este nombre se aplica al material que se separa al pasar de la pieza bruta a la acabada, material que a veces puede aprovecharse solamente como chatarra, y otras veces como material de recuperación (por ejemplo, cortando una corona de chapa para una máquina eléctrica, queda como residuo un disco que puede servir para la construcción de una máquina más pequeña). La consideración de los residuos tiene mucha importancia para proyectar piezas mecánicas, por su influencia en los cortes de las piezas.

Resiliencia. Se designa con este nombre el trabajo referido a la unidad de sección, frecuentemente a la rotura de una probeta de material frágil. Se mide en kgm/cm^2. Se puede, pues, considerar la resiliencia como la inversa de la fragilidad del material ensayado. El ensayo de resiliencia se practica con el martillo de Charpy (UNI 3212).

Restablecimiento. Calentando un material que ha sufrido un *endurecimiento* (v.) hasta una temperatura determinada y manteniéndolo en estas condiciones durante un tiempo conveniente, se ha efectuado el restablecimiento, esto es, la recuperación de sus propiedades físicas (UNI 3354).

Retacado (v. *Calafateado*).

Revenido. Tratamiento térmico que generalmente disminuye la dureza (aumentando la tenacidad) de un acero templado: mientras quede algo de austenita en el acero, podrá conseguirse aumentar la dureza transformándola en martensita. Consiste en el calentamiento del acero sin interrupción después del temple, hasta una temperatura inferior a la crítica, seguida de un enfriamiento más o menos rápido (UNI 3354).

Rockwell *(ensayo de dureza)*. Es un ensayo normalizado para determinar la dureza, que se efectúa con un penetrador de bola de acero o un cono de diamante (o eventualmente con otro dispositivo especial). Aplicando una carga inicial muy reducida al penetrador (del orden, por ej., de los 10 kg.), se va aumentando ésta gradualmente, mediante cargas suplementarias y se mide la profundidad producida por la misma. En otras palabras, la profundidad que ha de medirse es la que ha alcanzado el penetrador por obra de la carga suplementaria, una vez que ésta ha dejado de actuar. Las normas del ensayo vienen dadas en la tabla UNI 562-563. La dureza Rockwell se indica H_{Rb} para el penetrador de bola, y con H_{Rc} para el penetrador de cono. El ensayo de Rockwell deja poca huella (a diferencia del de Brinell), por lo que no perjudica el buen aspecto de las piezas sobre las que se efectúa.

Roscado con machos. Procedimiento muy extendido para cortar roscas en el interior de agujeros ya perforados, mediante *machos*, que son las herramientas para esta operación. Para roscar a mano suele recurrirse a un juego de machos formado por tres unidades, el primero de los cuales inicia la operación, efectuando el segundo el desbaste y el tercero el acabado. Para el roscado a máquina puede bastar un solo macho (materiales de poca dureza, agujeros pasantes y ciegos, siendo preciso que la entrada sea larga); en los otros casos serán necesarios dos machos. Para toda clase de roscado se precisa una adecuada lubricación.

Roscadoras. Máquinas herramientas que fabrican tornillos y tuercas con gran rapidez. Las hay semiautomáticas y automáticas y emplean como herramienta para roscar o bien un cojinete (o macho) o una fresa especial; otras efectúan el roscado por laminación en frío (*laminadoras*, para cobre, latón, acero muy dulce).

Sanderizado. Además de indicar la operación por la cual se elimina la tierra procedente de los moldes de colada de las piezas, mediante una corriente de aire y abrasivo, se aplica el nombre de *sanderizado* al acabado mate de la superficie de las piezas, conseguido haciendo chocar contra la misma diminutos granos de arena, de cuarzo o esmeril en polvo, o de arena de acero, que, mediante una corriente de líquido o aire comprimido, son lanzados a gran velocidad, arrancando minúsculas partículas de la superficie.

Seguros de macho. Todo *macho* (v.) lleva uno o dos apéndices llamados *seguros de macho*, que lo sostienen en la posición exacta deseada y lo mantienen inmóvil durante la colada. Estos seguros de macho se aplican en los huecos producidos en la construcción correspondiente salientes del modelo, llamados también *seguros*.

Sherardización. Es el tratamiento de cementación de un acero en un ambiente en que puede absorber cinc, con el fin de producir sobre la pieza una capa superficial resistente a los agentes atmosféricos (UNI 3354).

Shore *(dureza)*. Es un método de medida de la dureza de un material, basado en la medición de la altura de rebote, de un martillo diminuto de punta cónica o esférica, de diamante o de acero templado, que se deja caer libremente desde una altura fija. Para aplicar este método es preciso que el material cuya dureza se analiza, presente una superficie plana, horizontal y perfectamente mecanizada. Se emplea poco.

Silicización. Es el tratamiento de cementación de un acero, en un medio del que absorba silicio, con objeto de revestir de una capa superficial resistente a la oxidación en caliente a la corrosión y al desgaste (UNI 3354).

Silumín. Aleación de aluminio y silicio (11-13 %), a veces con adición de pequeñísimas cantidades de manganeso y magnesio. Admite tratamientos térmicos y tiene aplicación en la construcción de motores de aviación.

Sinterización. Es un procedimiento moderno de modelado, con el empleo de polvos metálicos o metalizados, que permite producir piezas macizas y acabadas, aun de formas muy complicadas, con gran rapidez y bajo coste de fabricación. El polvo puesto en el molde correspondiente a la pieza que se desea fabricar, se somete a una elevada presión (de 10 a 100 kg/mm²): luego se eleva la temperatura hasta un valor inferior al de fusión del material (si es único) o del menos fusible de los materiales (si es mezcla). Las partículas de polvo se aglomeran y se ligan de modo que se extraen de los moldes piezas compactas y resistentes.
Este procedimiento puede aplicarse:
a) *a metales puros:* (molibdeno, tungsteno, osmio, tantalio, etc., con calentamiento máximo a 1500° C, temperatura muy inferior a los puntos de fusión de los metales indicados, que son muy refractarios. Las briquetas o varillas sinterizadas se pueden estirar (filamentos de tungsteno para lámparas de incandescencia).
b) *a cuerpos varios mezclados sin aleación.* Por ejemplo, polvos de grafito, cobre y bronce, prensados a más de 5000 kg/cm² en atmósfera apropiada, dan un material sinterizado empleado para la fabricación de cojinetes autolubricados (grafito). Del mismo modo se obtiene el widia, plaquitas forjables de carburo de tungsteno y cobalto, etc.
c) *a metales para formar una solución sólida.* Por sinterización pueden originar una aleación de estructura homogénea (tungsteno y molibdeno; platino e iridio; aleaciones de plomo, etc.).

Sobrecalentamiento. Es el defecto ocasionado en un material por un recalentamiento a temperatura demasiado elevada y durante demasiado tiempo, que produce un engrosamiento irregular del grano, lo cual es causa de una disminución de sus propiedades mecánicas. Este defecto se corrige con la regeneración (UNI 3354).

Sobremedida. Cuando una pieza ha de sufrir ulteriores mecanizados (por ejemplo, una pieza moldeada o forjada), se ha de dejar un exceso de metal sobre todas las partes que se han de trabajar, metal que se separará durante los sucesivos mecanizados (por ejemplo, con las herramientas del torno, de la cepilladora, con la lima, etc.).

Soldabilidad. Es la propiedad que poseen algunos metales por la cual dos piezas del mismo, calentadas a temperatura conveniente y apretadas una contra otra mediante martillazos o prensas, se unen constituyendo una pieza única. Esta propiedad se presenta en grado muy alto en los aceros extradulces. Al aumentar el contenido en carbono, la soldabilidad disminuye, haciéndose nula para la fundición.

Soldadura común de infiltración. Es un proceso de soldadura heterogénea que consiste en obtener la unión de dos piezas metálicas infiltrando entre ellas superpuestas, un material metálico cuyo punto de fusión sea muy inferior al de dichas piezas. Esta soldadura es *blanda* si el material de aportación tiene un punto de fusión muy bajo (estaño y sus aleaciones); y *fuerte*, si su punto de fusión es bastante alto (latón, cobre, etc.).

Soldadura de forja. Es un procedimiento de soldadura de dos piezas de acero convenientemente perfiladas, que consiste en calentar los extremos que se han de soldar a la temperatura en la que el metal adquiere el estado *pastoso:* la soldadura se obtiene por percusión con martillos, mazos, martinetes, etc., o por presión mecánica (prensas). Además del acero se pueden soldar por este procedimiento los metales y aleaciones que antes de fundirse pasan por un estado pastoso (níquel, cobre, plata, etc.). Para que la operación quede bien, es necesario el empleo de desoxidantes apropiados.

Solubilización (o *temple de austenización* o *temple negativo*). Conviene a veces preparar un material para un tratamiento exterior de reprecipitación (v. *Envejecimiento*) o mantener en solución algún constituyente que de otro modo resultaría perjudicial. Se efectúa en tal caso un tratamiento de solubilización consistente en un calentamiento a temperatura de disolución en estado sólido de determinados constituyentes, manteniéndola el tiempo suficiente para su difusión, y en un enfriamiento bastante rápido para impedir que se vuelva a separar.

Sopladuras. Defectos de las piezas moldeadas consistentes en una cavidad producida por la presencia de aire en la masa del metal fundido, aire que no ha podido salir del molde y por consiguiente ha impedido que el metal fundido lo llenase completamente: o bien, por gases que se desprenden durante la colada, quedando incluidos en la pieza solidificada por no hallar salida. Si las sopladuras están en una parte que no deba ofrecer gran resistencia son poco perjudiciales y se pueden rellenar de estuco; en cambio, si están en partes sometidas a esfuerzos, pueden inutilizar la pieza.

Sorbita. Es el microconstituyente de los aceros templados y completamente revenidos. Su estructura es finísima.

Suavizado. Es el enfriamiento rápido desde una temperatura elevada, mediante contacto con un medio sólido, líquido o gaseoso (UNI 3354).

Superacabado. Es una operación de acabado superficial, con la que se obtiene una superficie especular en un acero templado, eliminando toda señal de operaciones anteriores y reduciendo al mínimo la *aspereza.* Se aplica a calibres, piezas acopladas de extremada precisión, etc. Se indica en los dibujos con 4 triángulos contiguos (indicación no unificada): pero dado que puede originar confusión con el bruñido o el lapeado, conviene especificar que se trata de superacabado.

Supermellok. Aleación magnética semejante al permalloy, pero con el 5 % de molibdeno, siendo más de 8 veces superior al permalloy en permeabilidad.

Taladradora. Máquina herramienta que practica agujeros con separación de viruta. Se acciona a mano o con motor. Las de motor son, de menos potentes a más potentes: taladradoras de banco, taladradoras de columna y taladradoras radiales. Existen taladradoras múltiples para la ejecución de varios agujeros a la vez, empleadas en el trabajo en serie.

Talón (o *cabeza*). Se indica con este nombre (UNIM 81) el diente del extremo de los tres tipos de chaveta (plana, rebajada y cóncava, con cabeza) que sirve para facilitar el desmontaje de la chaveta, mediante un extractor.

Teca. Madera dura y muy resistente, que se puede trabajar y lijar con facilidad. Procede de la India.

Telemando. Mando a distancia de un mecanismo accionado por medio de una corriente eléctrica de corta duración, transmitida por línea o por radio ondas. La corriente ha de alcanzar y recorrer el circuito que acciona el mecanismo. Éste puede activarse directamente o por un *relais.*

Temple. Es un tratamiento térmico que permite obtener una dureza elevada. Los ciclos con que se efectúa el tratamiento, distinguiéndose entre sí por la forma de ejecución y por su extensión, consisten en un calentamiento a temperatura superior a Ac_3 (aceros hipoeutectoides) o a Ac_1 a Ac_{cm} (aceros hipereutectoides): en una permanencia a la temperatura alcanzada y en un enfriamiento a velocidad superior a la velocidad crítica del temple hasta cerca de M (v. pág. 528).

Temple de austenización (v. *Solubilización*).

Temple en blanco. Temple efectuado en una atmósfera cuya naturaleza química no altere la composición química del material tratado. Consiste, pues, en un temple sin oxidación en una atmósfera controlada. Se aplica en la producción en serie de resortes, arandelas elásticas (toda clase de pequeñas piezas de acero, plumillas, agujas, alfileres, etc.), piezas de las cadenas de rodillos, etc.

Temple directo (*de dureza y ordinario*). Es el tratamiento anterior, con una velocidad de enfriamiento tal que permita obtener estructura martensítica.

Temple en dos tiempos (v. *Temple térmico*).

Temple escalar (v. *Temple térmico*).

Temple con histéresis. Para reducir las distorsiones que origina el temple directo, para algunos aceros aleados, el enfriamiento puede efectuarse lentamente hasta A_3 (v. pág. 528): y luego rápidamente hasta la temperatura ambiente.

Temple incompleto (véase *Amortiguamiento*).

Temple por inducción. Es un temple superficial en el que se produce el calentamiento mediante inducción electromagnética excitada por un circuito eléctrico.

Temple intermedio (v. *Temple isotérmico*).

Temple interrumpido. Para disminuir el peligro de distorsiones y grietas consiguiendo no obstante la dureza característica de la estructura martensítica, se suspende el enfriamiento durante el temple, en el momento en que la superficie de la pieza alcanza una temperatura inferior a M, superior a la del medio refrigerante.

Temple isotérmico (o *intermedio*). Para el calentamiento se procede como el temple ordinario. El enfriamiento se hace con velocidad superior a la crítica hasta una temperatura superior, aunque próxima, a M_s: después de una permanencia a esta temperatura suficiente para transformar totalmente o en parte la austenita, se completa el enfriamiento más o menos rápidamente. Se consigue con ello gran dureza junto con una relativa tenacidad y con menor peligro de grietas y distorsiones, alcanzándose una estructura constituida por una mezcla de bainita y martensita en proporciones que dependen de la duración de la permanencia a temperatura constante.

Temple localizado. Es un temple directo, limitado a una zona determinada de la pieza, cuyo fin es conseguir un endurecimiento localizado.

Temple a la llama. Es un temple superficial en el que el calentamiento se produce mediante la llama.

Temple negativo (v. *Solubilización*).

Temple superficial. Es un temple directo limitado a una capa superficial más o menos profunda, cuyo fin es conseguir una superficie dura y resistente al desgaste, con un núcleo relativamente tenaz. Se obtiene limitando el calentamiento a la parte superficial.

Temple térmico. Para conseguir dureza martensítica, reduciendo el peligro de distorsiones y grietas en los aceros que tienen tendencia a ellas, después del calentamiento indicado para el temple ordinario, se efectúa un enfriamiento que se distingue del del temple isotérmico sólo en la duración de la permanencia a temperatura constante, que es más breve y debe cesar antes de que comience la transformación de la austenita.

Thomas *(procedimiento)*. Es un procedimiento análogo al *Bessemer* (v.) para la producción de acero a partir de la fundición líquida: pero el convertidor Thomas tiene el revestimiento básico, que elimina el fósforo, obteniéndose en consecuencia, productos con mejores características.

Titanio. Metal con el que se preparan aleaciones de hierro con un 10-15 % de titanio, empleado en la producción de los aceros al titanio. Comunica al acero notable resistencia a las temperaturas elevadas y a la corrosión.

Tochos. Semifabricados, productos de laminación de lingotes en caliente de sección cuadrada (de cantos redondeados) con el lado $\geq$ 130 mm; o rectangular (tochos rectangulares) con una relación entre los lados $\geq$ 14 y sección no inferior a 16900 mm²

Tombaga. Aleación de cobre (80 ÷ 92 %) y cinc con trazas de estaño y plomo. Se emplea para imitar el oro.

Torno. Es la máquina-herramienta más difundida, existiendo numerosísimas variantes que se distinguen por su potencia, utilidad y estructura. El movimiento de mecanizado conferido a la pieza es giratorio. El movimiento de alimentación lo posee la herramienta, y tiene lugar en un plano que pasa por el eje de rotación de la pieza. Con el torno se pueden obtener piezas mecánicas con forma de sólido de revolución y sus derivadas (por ej., tornillos). Las principales operaciones que efectúa el torno son las siguientes: torneado cilíndrico interior y exterior, torneado cónico exterior e interior, torneado cilíndrico plano (o refrentado), taladrado y escariado, roscado interior y exterior, perfilado, rectificado cilíndrico y cónico. Desde el punto de vista constructivo, los tornos actualmente en uso se dividen en:
Horizontales: efectúan todas las operaciones indicadas: pueden tener dimensiones muy grandes (por ejemplo para el torneado de cañones).
Frontales: efectúan el mecanizado de piezas relativamente cortas y de gran diámetro.
Verticales: Mecanizan piezas de gran diámetro y cuyo peso impide montarlas en voladizo o entre los puntos.
Revólver: Se caracterizan por un portaherramientas en forma de torre giratoria, sobre la que pueden montarse varias herramientas para efectuar otras tantas operaciones, que ordinariamente se suceden en una misma pieza (por ejemplo la fabricación completa de un perno a partir de la barra hexagonal de igual medida que la cabeza de aquél).
Semiautomáticos: Para la producción en serie de piezas del tipo que se obtiene con el torno revólver, o más complicadas, con husillos múltiples; en este torno, el montaje y desmontaje de las piezas, al principio y al fin del mecanizado, se efectúa a mano.
Automáticos: Análogos a los precedentes, pero no se necesita mano de obra para el montaje y desmontaje de las piezas. El número de operaciones distintas que puede efectuar un torno automático es bastante grande, y todas ellas accionadas automáticamente por medio de tambores perfilados, correderas, levas, etc., que actúan en el momento oportuno sobre los diversos husillos y sobre los controles de avance, cambio de velocidad, inversión de marcha, etc.
Con copiador: Los movimientos de las herramientas los gobierna hidráulicamente un seguidor apoyado en un modelo o en un prototipo de la pieza que se desea (por ej., la producción en serie de manecillas).
De destalonar: La herramienta recibe movimientos automáticamente de avance y retroceso radial, de modo que pueda efectuar el destalonado de las piezas que lo necesiten, (por ej., fresas de módulo).
Especiales: Estudiados expresamente para mecanizar en serie piezas especiales (por ej., superficies esféricas, llantas de ruedas de ferrocarril, etc.).

Torre. Tipo especial de portahusillos, capaz de sostener diversos husillos y de presentarlos en la posición exacta de trabajo; es característica de los tornos revólver llamados de torre, y aplicada también a los tornos ordinarios.

Transfer. Máquina modernísima que ha permitido la automación. Se compone de varios cabezales motores, a cada uno de los cuales corresponde una serie de operaciones: estos cabezales están enlazados con órganos transportadores, que llevan las piezas sucesiva y ordenadamente de un cabezal a otro. De esta forma los cabezales trabajan siempre simultáneamente, pero, sobre otras tantas piezas distintas, que pasan de un cabezal a otro, recibiendo sucesivamente todos los mecanizados. Así, por ejemplo, si son seis los cabezales, se mecanizan al mismo tiempo seis piezas. Cuando una pieza ha experimentado la operación de la última máquina, se descarga: al mismo tiempo entra en operaciones una pieza en el primer cabezal. La producción es rápida y completamente automática, pues incluso el control de cada operación es también automático. Las piezas defectuosas o equivocadas son separadas automáticamente, antes de experimentar la operación siguiente a aquella durante la cual ha aparecido el defecto.

Tratamiento bajo cero (v. *Congelación*).

Tratamiento térmico. Según las últimas definiciones (UNI 3354) se entiende por tratamiento térmico una operación o sucesión de operaciones mediante las cuales un metal o una aleación metálica, se someten, por debajo del punto o del intervalo de fusión, en ambiente de naturaleza determinada, a uno o más ciclos térmicos (calentamiento, mantenimiento a una temperatura, enfriamiento) entre ciertas temperaturas y con una duración y velocidad de variación de la temperatura fijada, con el fin de comunicarle determinadas propiedades.

Trazado. Es la operación mediante la cual se trazan sobre una pieza bruta o semimecanizada las líneas que limitan las partes que se han de eliminar, o los segmentos adecuados que, con su intersección, indican la posición exacta de los centros, agujeros, ejes, etc.

Tren de laminación. Se compone de un motor y de dos o más bastidores de cilindros laminadores, contiguos. Hay, además, todos los accesorios que transmiten el movimiento del motor a todos los cilindros de los laminadores y un volante con un momento de inercia en relación con las laminaciones más pesadas que el tren haya de realizar.

Tronzado. Corte de un metal (plancha o barra) efectuado sin separación de viruta, producido mediante un esfuerzo cortante, valiéndose de un *punzón* (cuando la sección es una figura cerrada) o de una *cizalla* (si la sección ha de ser abierta).

Troostita. Es uno de los microconstituyentes de los aceros, intermedio entre la martensita (acero a temple completo) y la sorbita (estructura finísima alcanzada después de un revenido completo).

Tungsteno. Es el metal que tiene el punto de fusión más alto. Su uso principal es como filamento de lámparas incandescentes y tubos electrónicos. Se obtiene por sinterización del polvo reducido con hidrógeno (v. *sinterización*).

UNAVIA. Sigla de la unificación aeronáutica, comité federado con el UNI.

UNI. Sigla del Comité Italiano de Unificación. (Al principio UNIM, y limitado sólo a la Mecánica.)

UNIMEC. Unificación de la gran mecánica. Comité federado con el UNI.

UNIMET. Unificación de los metales no férreos. Comité federado con el UNI.

Unión articulada. Es la articulación de dos partes de una pieza mecánica (junta esférica, gorrón esférico).

UNIPLAST. Unificación de las materias plásticas. Comité federado con el UNI.

UNIPREA. Sigla correspondiente a unificación de la mecánica de precisión, fina, óptica y afines. Comité federado con el UNI.

UNSIDER. Unificación siderúrgica. Comité federado con el UNI.

Utillaje. Se indica con este nombre un conjunto de útiles, convenientemente seleccionados, para la ejecución de un trabajo en una pieza determinada o para el montaje de un mecanismo, o para fines análogos. El estudio de los utillajes corre a cargo de oficinas técnicas especializadas y tiene una gran importancia especialmente para la fabricación en serie, importancia aún aumentada con la introducción de la automación.

Vanadio. Es un metal (V) empleado en metalurgia, aleado con el hierro (ferro-vanadio, con el 25 ÷ 35 % de vanadio) para la preparación de los aceros al vanadio, al cromo-vanadio y también como desoxidante de los aceros y de las fundiciones.

Vanalio. Aleación ligera de aluminio con cobre (5 %), cinc (8 ÷ 10 %), magnesio (2 ÷ 4 %), hierro (1 %), vanadio (0,2 %). Resiste bien a la corrosión y se presta al embutido.

Varilla. Redondo de acero de la calidad UNI 3033, de diámetro unificado igual a 5,2 mm (UNI 3034) con tolerancia ± 0,3 mm. Se obtiene por laminado en caliente de barras o redondos de acero.

Vickers *(dureza)*. Es una medida convencional de dureza, determinada con un penetrador de diamante en forma de pirámide recta de base cuadrada. Se calcula la dureza por la medida de la diagonal de la huella dejada, por la acción de una carga fijada, aplicada gradualmente y actuando durante 15 segundos. La huella es microscópica y no perjudica las piezas. La normas del ensayo están unificadas en la tabla UNI 318. La dureza Vickers se indica con la sigla HV, seguida de dos números que indican la carga en kg y el tiempo de aplicación. Ejemplo, HV/50/20.

Vinavil. Nombre comercial del *acetato de polivinilo* (materia plástica).

Vipla. Nombre comercial de la materia plástica *cloruro de polivinilo.*

Widia. Aglomerado compuesto de varios carburos (especialmente de tungsteno) con polvos de níquel, cobalto y manganeso en pequeños porcentajes. Su dureza es casi la del diamante y se obtiene por sinterización. Se emplea en plaquitas para formar la parte cortante de herramientas: las plaquitas se sueldan al cuerpo de la herramienta con cobre. Se trabaja con muelas con diamante.

Wolframio (v. *Tungsteno*).

Wood *(aleación de)*. Es una aleación fusible a 67° C, cuyos principales componentes son el bismuto (30 %), el estaño (15 %), el plomo (30 %), el cadmio (16 %).

Zama *(aleaciones)*. Son aleaciones de cinc y aluminio, que, si se componen de cinc *purísimo,* tienen buena resistencia y son apropiadas para moldeo en coquilla, colada a presión. Resisten a temperaturas hasta 130 ÷ 150° C.

ÍNDICE ANALÍTICO